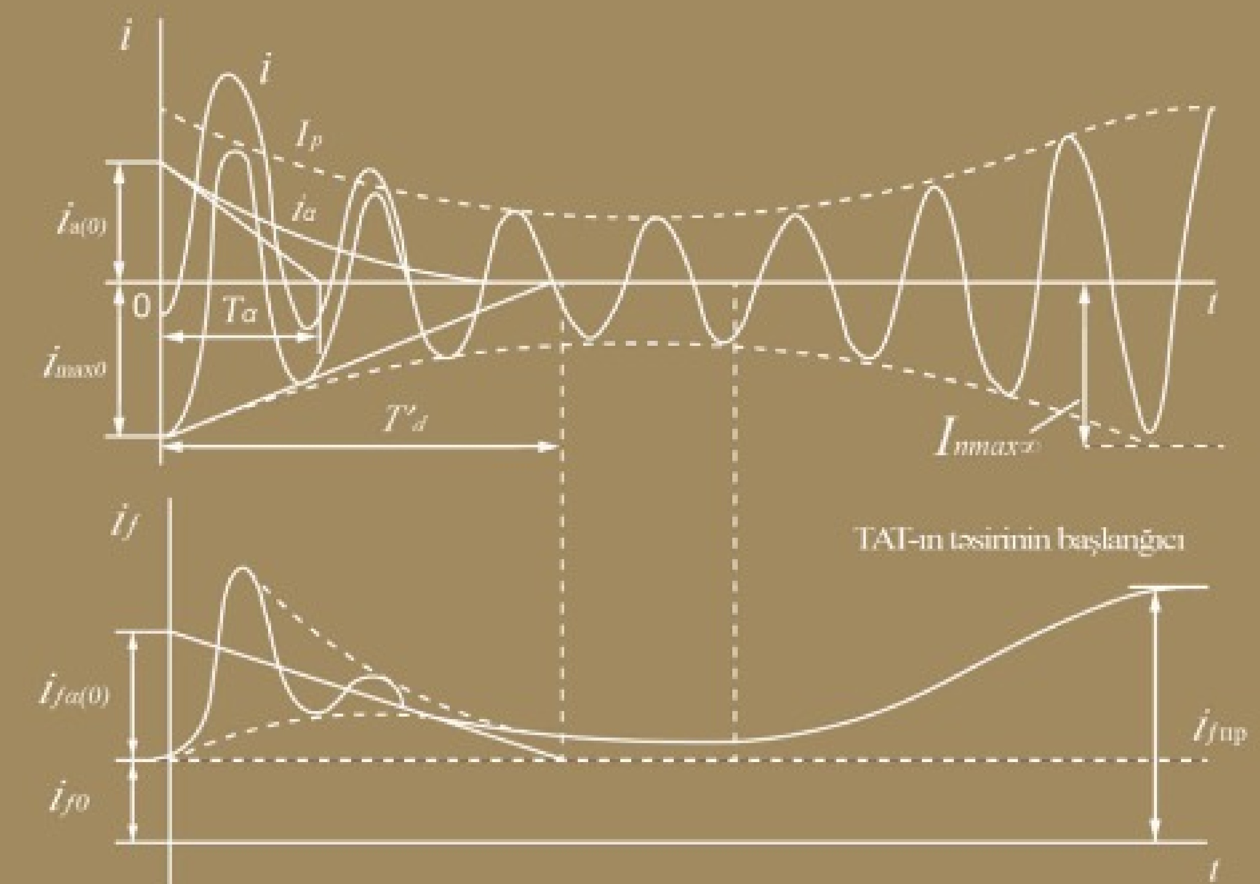


Nurəli Adil oğlu Yusifbəyli 1963-cü ildə anadan olub. 1980-86-cı İllərdə Kiyev Politexnik Institutunda "Elektrik Sistemlərinin Kibernetikası" ixtisası üzrə təhsil almışdır. 1986–1989-cu illərdə Sumqayıt 1 saylı İEM-də elektrik montyoru, elektrik sexinin və stansiyanın növbə rəisi, 1989–2001-ci illərdə "Azərenerji" DŞ-də Dispetçer, Böyük Dispetçer, "Azərenerji" ASC MDX-nin rəisi, Baş dispetçer, Baş mühəndisin müavini, 2001–2002-ci illərdə "Azərenerji" ASC"Enerjinin ötürülməsi" İB Baş Direktorun müavini, 2002–2009-cu illərdə Mərkəzi Dispetçer İdarəsinin rəisi vəzifələrində çalışmışdır.

2009–2012-ci illərdə "Azərbaycan Elmi–Tədqiqat və Layihə Axtarış Energetika İnstitutu"nun direktoru olmuşdur. 2012-2015-ci illərdə İqtisadiyat və Sənaye Nazirliyinin Baş Məsləhətçisi, Nazirin müşaviri, Strateji Planlaşdırma şıbəsinin müdiri vəzifələrində çalışmışdır. 2015-2020-ci illərdə Azərbaycan Respublikasının Prezidentinin Sərəncamı ilə Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyi sədrinin müavini vəzifəsində fəaliyyət göstərmişdir. 2021-ci ildən AzTU-da tədris işləri üzrə prorektor vəzifəsində fəaliyyətini davam etdirir. Azərbaycan Respublikasının "Əməkdar mühəndisi", "Əməkdar elm xadimi" və MDB üzv ölkələrinin "Əməkdar Energetiki" Fəxri adlarına layiq görülmüşdür. Texnika elmləri doktoru, professor, 9 kitab, 3 Azərbaycan Standartı, və 150-dən çox elmi əsərin müəllifi, eləcə də energetika sahəsində 20-dən çox normativ hüquqi sənədin redaktoru olmuşdur. Azərbaycan Respulikası Prezidenti yanında AAK-da qeydiyyat nömrəsi ED 2.04 olan Dissertasiya Şurasının sədri, "EEEC" Beynəlxalq Elmi-İstehsalat jurnalının Baş redaktoru, IEEE Cəmiyyətinin, "Проблемы энергетики", "Applied Mathematics" və "Azərenerji" ASC Texniki Şuranın üzvüdür.
Ailəlidir, iki övladı var.

NURƏLİ YUSİFBƏYLİ

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNDƏ KEÇİD PROSESLƏRİ



NURƏLİ YUSİFBƏYLİ
ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNDƏ KEÇİD PROSESLƏRİ

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi

AZƏRBAYCAN DÖVLƏT NEFT VƏ SƏNAYE UNİVERSİTETİ

YUSİFBƏYLİ N.A.

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNDƏ KEÇİD PROSESLƏRİ

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi
ADNSU-nin 27.10. 2019 tarixli,
01 - I/37 saylı əmri ilə çapa
tövsiyə edilmişdir

BAKI – 2022

UOT 621.311.018
Elmi redaktor: T.e.d. professor As.M. Hüseynov

Rəyçilər: T.e.d., akademik A.M. Haşımov
T.e.n., dosent A.Q. Əliyev

Yusifbəyli N.A. Elektrik Sistemlərində Keçid Prosesləri: Dərslik.
– Bakı: ADNSU ; "Maarif" nəşriyyatı", 2019. – 432 səh.

İSBN 978-9952-552-12-6

İkinci Nəşr

Dərslikdə elektrik sistemlərində elektromaqnit və elektromexaniki keçid proseslərinin əsas müddəalarına baxılmışdır. Keçid prosesləri ilə əlaqəli fiziki hadusələr təqdim olunur. Elektrik sistemlərində qısaqapanma cərəyanlarının və keçid proseslərinin analizi metodları verililir və praktik nümunələr təqdim olunur.

Kitab Dövlət tərəfindən ali təhsil sisteminə qoyulan standartlara uyğun hazırlanmışdır və "Elektroenergetika", "Elektrik sistemləri və şəbəkələri", "Elektrik təchizatı", "Elektroenergetika sistemlərinin rele mühafizəsi və avtomatlaşdırılması" istiqamətlərində təhsil alan bakalavr, magistr və həmçinin ali təhsilli mütəxəssislər və doktorantlar üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Dərslik elektroenergetika sistemində çalışan əməkdaşlar üçün də faydalı ola bilər.

UOT 621.311.018

Kitabı, mənim təlim - tərbiyəm və təhsilimdə əvəzsiz zəhmətləri olmuş əziz valideyinlərim rus-alman müharibəsinin iştirakçısı Adil və Qəhrəman Ana Ceyran Yusifbəylilərin əziz xatirəsinə ithaf edirəm

MÜƏLLİF

ÖN SÖZ

Ali məktəb tələbələri və mütəxəssislər üçün nəzərdə tutulan bu dərslik özündə "Elektrik sistemlərində keçid prosesləri" kursunun məzmununu əks etdirir. Keçid proseslərinin ətraflı öyrənilməsi üçün əsaslar yaratmaq və bu proseslər haqqında təhsilalanlarda və energetika mühəndislərində tamamlanmış fikir formalaşdırmaq üçün müəllif tərəfindən keçid prosesləri nəzəriyyəsinin əsas suallarının yığcam ifadə olunmasına cəhd olunmuşdur. Dərslikdə elektrik sistemlərində həm elektromaqnit, həm də elektromexaniki keçid proseslərinə baxılmışdır.

Kitab yazılarkən müəllif elektromaqnit və elektromexaniki keçid proseslərinə aid Vaqner K.F., Evans R.D., Oberdorfor B., Jdanov P.S., A.A.Qorev, R.Park, Lebedov S.A., Venikov V.A., Ulyanov S.A., F.Anderson, P.Kunder, F.H.Həmzəyev, Jukov L.A., Kulikov Y.A və digər alimlər tətəfindən yazılmış fundamental momoqrafiya, dərslik və dərs vəsaitlərindən, həmçinin müəllifin Kiyev Politexnik İnstitutunun (İndiki Kiyev Texniki Akademiyası) Elektroenergetika fakültəsində oxuduğu müddətdə (1980-1986)

dinlədiyi və ADNSU Energetika fakultəsində oxuduğu mühazirə materiallarından istifadə etmişdir.

Dərsliyin məzmunu "Elektroenergetika sistemlərinin dayanıqlığı", "Elektroenergetika sistemlərində keçid prosesləri" və qismən "Elektrik təchizatı sistemlərində keçid prosesləri" fənninin məzmununa uyğundur.

Dərslik iki hissədən ibarətdir. Birinci hissədə elektromaqnit keçid prosesləri haqqında məlumatlar verilmiş, ümumi anlayışlar və təriflər sistemləşdirilmiş, qısaqapanmaların yaranma səbəbləri, təbiəti və onların yaratdığı fəsadlar izah olunmuşdur. Həmçinin, qısaqapanma şərtlərinə görə elektrik qurğuları və cihazlarının yoxlanması və seçilməsi məqsədilə, təhsilalanlara lazım olan parametrlərin hesablanması üçün zəruri olan hesablama metodları və üsulları analiz edilmişdir. Hesablama sxemlərinin hazırlanması və onların parametrlərinin təyin edilməsi, zərbə cərəyanının, qeyri-simmetrik qısaqapanma və yerlə sadə qapanma cərəyanlarının hesablanması, eləcə də mövzulara aid nümunələr da birinci fəsildə öz əksini tapmışdır.

Dərsliyin ikinci hissəsi elektrik sistemlərində statik və dinamik dayanıqlığın və asinxron rejimlərin təhlilinə, dayanıqlığın əsas təhlil metodlarının təsvirinə həsr olunmuşdur. Bu hissəyə eyni zamanda, elektroenergetika sistemlərinin dayanıqlıq qabiliyyətinin yaxşılaşdırılması üçün kompleks təklif və tədbirlər daxil edilmişdir.

Dərsik, verilən materialların həm elektromaqnit, həm də elektromexaniki keçid proseslərinin ümumi təsvir və təhlilini əhatə etdiyinə görə xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Kitabda həmçinin, məzmunca uzun xətlərdə keçid proseslərinə yer verildiyinə görə, onun magistrlər, aspirantlar və paylanmış parametrli elektrik sistemlərində keçid prosesləri ilə məşğul olan mütəxəssislər üçün faydalı hesab etmək olar.

Kitabın hazırlanmasında və nəşrində göstərdikləri dəstəyə görə, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetin rektoru, t.e.d. professor M. Babanlıya, "Azərenerji" ASC-nin kollektivinə və cəmiyyətin Prezidenti B. Rzayevə, "Azərişıq" ASC-nin sədri V. Əhmədova həmçinin verdikləri qiymətli rəylərə görə t.e.d., Azərbaycan Respublikasının əməkdar elm xadimi, Dövlət mükafatı laureatı, akademik A.M.Haşımova, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin "Elektroenergetika" kafedrasının müdüri,

t.e.n. dosent A.Q. Əliyevə, dərsliyin elmi redaktoru və mənim elmi fəaliyyətimdə əvəzsiz xidmətləri olmuş müəllimim professor, t.e.d., professor As.M. Hüseynova və kitabın texniki redaktoru t.e.n. dosent H.Q. Quliyevə dərin minnətdarlığını, eləcə də kitabın ikinci nəşrinin işlənməsi, xüsusilə yay tətili müddətində dözüm nümayiş etdirdiklərinə görə, elmi-pedoqoji fəaliyyətimə stimul verən qızlarım Hacəttəpə unvesitetinin tibb fakultəsinin tələbəsi Ceyran və ADA unversitetinin biznesin idarə olunması fakultəsinin tələbəsi Fidan Yusifbəylilərə və eləcə də qəzlarımın təlim-tərbiyəsində müstəsna əməyi olan həyat yoldaşım Təhminə Yusifbəyliyə dərin təşəkkürünü bildirirəm.

Müəllif kitabın məzmunu ilə bağlı meydana çıxa biləcək qeyd və tövsiyələrə görə istifadəçilərə əvvəlcədən öz ehtiramını bildirir və onların Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti “Enerji İstehsalı Texnologiyaları” kafedrasının ünvanına göndərilməsini rica edir.

GİRİŞ

Müasir elektroenergetika sistemlərinin (EES) inkişafı, energetika sektorunda gedən restrukturizasiya, bazar iqtisadiyyatına keçid, fəaliyyət göstərən enerji birliklərinin paralel iş rejimlərinə olan tələblərin sərtləşdirilməsi, EES-in rejimlərinin idarə olunması üçün yeni texniki və iqtisadi prinsiplərin işlənib həyata keçirilməsi, Avtomatlaşdırılmış Dispetçer İdarəetmə Sistemi Kompleksinə daxil olan EES-in rejim etibarlığının və effektivliyinin təmin olunması üzrə mövcud meyar və metodların ciddi analizi ilə xarakterizə olunur. Bununla yanaşı bir neçə təmayül müşahidə olunur:

1. Aqreqatların vahid qoyuluş gücünün artması. Bu, eyni zamanda həm generasiya güclərinə, həm də elektrik enerjisi istehlakçılarına şamil olunur.

Ötən əsrin 80-ci illərinə kimi istehsal olunan maşınların quruluşu normalardan yuxarı olan qısaqapanma cərəyanlarının dinamik və termik təsirlərinə qarşı süni dözümlük ehtiyatları ilə təmin olunurdu. Lakin, istehsal texnologiyalarının növbəti inkişaf mərhələlərində iqtisadi meyarların ciddiləşməsi və bazar iqtisadiyyatına keçidlə bağlı qeyd olunan ehtiyatın minumuma endirilməsi.

2. Yüksək gərginlikli səbəkələrdə gərginlik sinfinin artırılması. Gərginliyin artması ilə yük verilişinin artması elektrik verilişinin etibarlılığına qoyulan tələblərin sərtləşməsini zəruri etmişdir.

3. Enerji birliklərinin güclərinin artması. Hazırda bütün inkişaf etmiş ölkələrdə böyük enerji sistemləri yaradılmışdır. Avtonom rejimdə işləyən elektrik stansiyalarının və ya enerjisistemlərin digər sistemlər ilə paralel (sinxron) iş rejiminə keçməsi elektrik enerjisinin

istehsalına sərf olunan ümumi xərcləri azaltsa da, onların idarə olunmasını mürəkkəbləşdirmiş və ağır sistem qəzalarının baş vermə ehtimalını artırmışdır.

Sistem qəzaların qarşısının alınması üçün ən effektiv vasitə enerjisistemin idarə olunmasının təkmilləşdirilməsidir. Bu vasitələr əsasən iki yerə bölünür: operativ-dispetçer və avtomatik.

Operativ-dispetçer idarəçiliyi xüsusi hazırlanmış növbətçi heyətin gücü ilə həyata keçirilir. Operativ idarəetmənin vacib şərtlərindən biri enerjisistemin cari vəziyyəti və həmçinin, əvvəlcədən analiz olunmuş normal və keçid prosesləri haqqında dolğun informasiyanın olmasıdır. Bu və digər informasiyaların vaxtında operativ heyətə verilməsi idarəetmənin effektivliyini şərtləndirən əsas məsələlərdəndir.

4.Avtomatik idarəetmə sistemlərinin daima inkişaf edərək mürəkkəbləşməsi. Bu təmayül ötən əsrin sonlarından başlayaraq intellektual (smart) texnolojiyaların tətbiqi ilə bağlı müasir dövrün xarakterik xüsusiyyətlərindəndir.

Yuxarıda sadalanan istiqamətlərdən əlavə bir sıra digər təmayüllər də mövcuddur: kommutasiya avadanlıqlarının güclərinin artması, qısaqapanma cərəyanlarının qiymətlərinin yüksəlməsi və s. Ona görə də enerji sisteminin etibarlı və effektiv işini təmin etmək üçün keçid proseslərinin ətraflı analizi tələb olunur.

I H İ S S Ə

QISAQAPANMA CƏRƏYANLARI

I F Ə S İ L

KEÇİD PROSESLƏRİ HAQQINDA ÜMUMİ MƏLUMAT

1.1. ƏSAS ANLAYIŞ VƏ TƏRİFLƏRİN SİSTEMLƏŞDİRİLMƏSİ

Elektroenergetika sisteminin (EES) vəziyyətinin istənilən dəyişmələrində keçid prosesləri baş verir. Keçid prosesi dedikdə, EES-nin bir iş rejimindən, bundan fərqli digər iş rejiminə keçməsi başa düşülür.

Energetika iqtisadiyyatın sahəsi olmaqla, enerjinin (istilik və elektrik enerjisinin) isehsalını, ötrülməsini, paylanması və istehlakçılara satışını özündə ehtiva edir. Enerji resurslarının hasilatı,

emalı və ötürülməsi ilə birlikdə *yanacaq – enerji kompleksini* təşkil edir.

Elektroenergetika sistemi – energetikanın altsistemi olaraq, rejimin ümumiliyi və vahid mərkəzləşdirilmiş dispetçer idarəsi ilə əlaqələndirilmiş paralel iş rejimində fasiləsiz fəaliyyət göstərən enerjisistemin elektrik avadanlıqları və qəbuledilcəri kompleksidir [1].

Enerji sistemi (ES) - rejimin ümumiliyi və vahid mərkəzləşdirilmiş dispetçer idarəsi ilə əlaqələndirilmiş paralel iş rejimində fasiləsiz fəaliyyət göstərən enerji istehsalı və ötürmə, çevrilmə və paylanma sistemlərinin toplusudur.

Elektrik sistemi – elektroenergetika sisteminin şərti olaraq ayrılmış bir hissəsidir. Bu sistem vasitəsilə elektrik enerjisi istehsal olunur, çevrilir, ötürülür və istehlak olunur. Qəza şəraiti baş verdikdə sistemdə keçid prosesi yaranır və prosesin davam etdiyi müddətdə bir rejimdən digərinə keçid baş verir.

Sistemin iş *rejimləri* – zamanın istənilən anında və ya çərçivəsində elektrik sisteminin işini və vəziyyətini xarakterizə edən proseslərin məcmusudur. Rejimin parametrləri: gərginlik, cərəyan, güc və s. olmaqla öz aralarında sistemin parametrləri ilə əlaqəlidir. Sistemin parametrləri: müqavimət, keçiricilik, transformasiya əmsalı, zaman sabitləri, gücləndirmə əmsalları və s. olmaqla, elementlərin fiziki xassələrinə görə təyin olunur. Elektrik sistemlərinin rejimləri bir neçə növə görə bir – birindən fərqləndirilir:

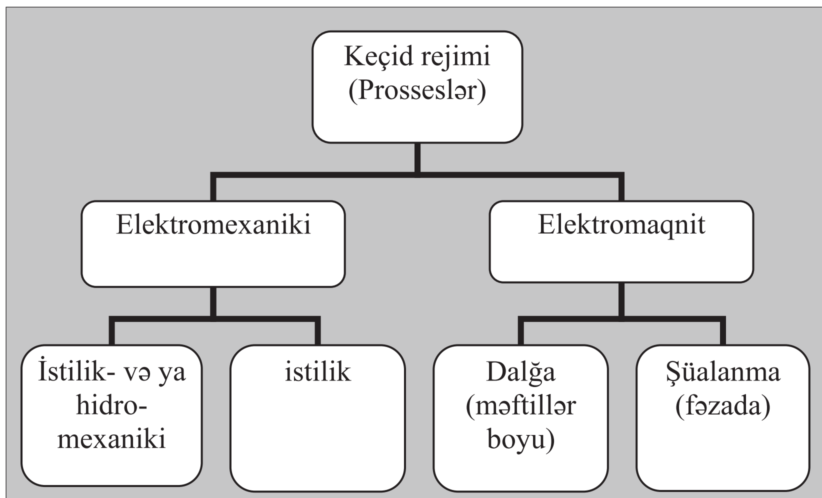
1. *Qərarlaşmış (normal) rejim* – sistemin rejim parametrlərinin kiçik hədlərdə dəyişməsi zamanı, onların dəyişmədiyini qəbul etməyə imkan verən vəziyyətidir.
2. *Normal keçid rejimləri* – sistemin normal istismar rejimlərinə (sistemin hər hansı bir elementinin qoşulması və açılması, yükün dəyişdirilməsi, sinxron maşınların (SM) sinxron qoşulması və s.) uyğun dəyişmələr nəzərdə tutulan rejimdir.
3. *Qəza keçid rejimləri* – ES elementlərinin qəflətən açılması, onlarda baş verən qısaqapanma, bu elementlərin təkrarən qoşulması və açılması, SM –in qeyri – sinxron qoşulması və s. həyəcanlanma (qəza) zamanı yaranır.
4. *Qəzadan sonrakı qərarlaşmış rejimlər* – ES-in zədələnmiş elementlərinin dövrədən açılmasından sonra baş verir. Bu

zaman qəzadan sonrakı rejimin parametrləri normal (başlanğıc) rejimin parametrlərinə həm yaxın, həm də onlardan xeyli fərqlənə bilər.

Ümumiyyətlə, rejim sistemin işini kəmiyyətcə müəyyən edən göstəricilərlə - parametrlərlə xarakterizə olunur. Bunlar *rejim parametrləri* adlanır. Sistemin kəmiyyətcə fiziki xassələrini təyin edən parametrlər isə *sistem (sxem) parametrləri* adlanır.

Elektroenergetika sisteminin istənilən rejimində, o cümlədən qərarlaşmış rejimində rejim parametrləri sabit deyil, onlar fasiləzis olaraq dəyişir.

Sistemin rejimləri vahid olmayaraq *şəkil 1.1*-də göstərilən müxtəlif proseslərdən ibarətdir [1]. Ümumiyyətlə, *proses* dedikdə, hər-hansı hadisələrin ardıcıl olaraq dəyişməsi başa düşülür. Elektrik sistemlərində və onların elementlərində istənilən rejimin tərkibi hesab olunan proesseslər həddən artıq çoxdur.



Şəkil 1.1.Eneji blokunun keçid rejimi, prosesslər və onun mürəkkəbələri

Bir rejimdən digərinə keçid zamanı sistemin elementlərinin elektromaqnit vəziyyəti dəyişir, generatorların və mühərriklərin valında mexaniki və elektromaqnit momentlər arasında balans pozulur. Həyacanlandırıcı təsirlərin yaratdığı elektromaqnit və

elektromexaniki keçid proseslərinin (turbinin fırlanması tezliyinə tənzimlənmə sisteminin təsirini nəzərə almaqla) qurtarmasına qədər olan rejim *keçid rejimi* adlandırılır. Keçid rejimi müddətində davam edən keçid prosesi sistemdə elektromaqnit və mexaniki dəyişikliklərin məcmusunu xarakterizə edən prosesdir, onlar bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqəlidir və bütöv bir vahidi ifadə edirlər. Buna baxmayaraq çox hallarda keçid prosesini iki mərhələyə bölürlər. Birinci mərhələdə ES-də fırlanan elektrik maşınları müəyyən ətalətə malik olduqlarına görə elektromaqnit dəyişikləri üstünlük təşkil edir. Bu mərhələ saniyənin yüzdə bir hissələrindən 0,1 ... 0,2 hissəsinə qədər davam edir və *elektromaqnit keçid prosesi* adlanır. İkinci mərhələdə sistemin mexaniki xassəsi özünü biruzə verir və o keçid prosesinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Bu mərhələ *elektromexaniki keçid prosesi* adlanır.

Əksər hallarda qəza keçid proseslərinin yaranmasına qısaqapanmalar (QQ) səbəb olur. Qısaqapanma normal istismar şəraitində nəzərdə tutulmayan fazalararası və faza ilə yer arasında yaranan qapanmalardır. Neytralı yerdən izolyasiya olunmuş sistemlərdə bir fazanın yerlə qapanması (elektriki birləşməsi) sadə qapanma adlandırılır.

Yerlə birləşmə yerlərində çox hallarda elektrik qövsü yaranır. Qövsün müqaviməti qeyri-xətti xarakter daşıyır. Qövsün qısaqapanma cərəyanına təsirinin nəzərə alınması mürəkkıb məsələ hesab olunur.

Qısaqapanma yerində qövsün müqavimətindən başqa çirklənmənin, izolyasiya qalığının və s. olması ilə əlaqədar olaraq keçid müqaviməti yaranır. Keçid müqaviməti və qövsün müqaviməti kiçik olduğu hallarda onlar nəzərə alınmır. Belə qapanma *elektriki* qapanma adlanır. Mümkün maksimal cərəyanların hesabatı metallik QQ üçün yerinə yetirilir. Neytralı yerlə bilavasitə birləşdirilmiş elektrik sistemlərində dörd növ QQ mövcud olur və bunlar bir-birindən fərqləndirilir (cədvələ bax). Onlaradan ən çox, 6-95 % baş vermə ehtimalı ilə rast gəlinəni birfazalı QQ-dir. Bu cür QQ-nin yaranma ehtimalı şəbəkədəki gərginliyin artması ilə yüksəlir. Bu fazlararası məsafənin artması ilə (orta hesabla bu məsafə 6 ... 10 kV-də 0,7 m olduğu halda, 500 kV-lik şəbəkədə 14 metrə qədərdir) əlaqədardır. Bəzi hallarda qəza prosesinin inkişafı dövründə

qısaqapanmanın ilkin növü başqa (məsələn, birfazlı QQ – yerlə ikifzalı QQ-yə) növ QQ-yə keçir.

Qeyri-simmetrik QQ, həmçinin qeyri-simmetrik yük sistemdə *eninə qeyri-simmetriyanı* yaradır. Üçfazalı şəbəkənin hər hansı bir elementinin simmetriyasının pozulması (məsələn, elektrik verilişi xəttinin bir fazasının açılması) *uzununa qeyri – simmetriyanı* yaradır. Çoxqat qeyri – simmetrikliklə müşayət olunan zədələnmələr (məsələn, qısaqapanma və fazanın qırılması ilə) *mürəkkəb* zədələnmə adlanır.

Üçfazlı QQ-nin başvermə ehtimalının digər QQ növlərinə nisbətən aşağı olmasına baxmayaraq, EES-i avadanlıqlarının iş rejimlərinin mümkünlüyünün araşdırılmasında həlledici rola malikdir. Digər tərəfdən, bütün növ qeyri-simmetrik QQ-in hesablanması hər-hansı fiktiv üçfalı QQ-nin hesablanmasına gətrilir.

Elektrik sistemlərində qısaqapanmaların ehtimalı

Qısa-qapanmanın növü və onun işarəsi	Prinsipial Sxem	QQ-nin nisbi ehtimalı (%) Müxtəlif gərginlikli şəbəkələrdə, kV				
		6…20	35	110	220	500
Birfazalı $K^{(t)}$		60	67	83	88	95
İkifazalı $K_{(2)}$		17	18	5	3	2
Yerlə ikifazalı $K^{(1,1)}$		12	7	8	7	2
Üçfazalı $K^{(3)}$		11	8	4	2	1

1.2. QISAQAPANMALARIN YARANMASININ TƏBİƏTİ

Elektrik sistemlərində keçid prosesləri istismar şərtlərinin və ya elektrik qurğularının çərəyan daşıyıcı hissələrinin isolyasıyasının zədələnməsi nəticəsində rejimlərin dəyişməsi ilə əlaqəlidir. Qısaqapanmanın çoxsaylı yaranma səbəblərindən bir neçəsini göstərmək olar:

1) İstismar müddəti ərzində izolyasiyanın köhnəlməsi, izolyatorların səthinin çirklənməsi və mexaniki zədələnmələr nəticəsində elektrik avadanlığının izolyasiyasının pozulması;
2) elektrik şəbəkəsi elementlərinin mexaniki zədələnməsi (elektrik verilişi xətti naqilinin qırılması və s.);
3) qısaqapayıcının iş fəaliyyəti ilə məqsədyönlü (mühafizənin işləməsi üçün) yaradılan QQ;
4) sinxron maşınlarda təsirlənmənin forsirovkası və onun maqnit sahəsinin söndürülməsi;
5) gözənilməz yük açılma və qoşulmaları;
6) sinxron maşınların asinxron gedişi;
7) elektrik sistemi elementlərində atmosfer-klimatik təsirlər nəticəsində yaranan ifrat gərginliklərin yaranması;
8) heyvan və quşlarla cərəyandaşıyıcı hissələrin örtülməsi (qapanması);
9) əməliyyat heyətinin çevirmə əməliyyatları aparan zaman səhvi və s.

Komutasiya çevirmələri, sınaqların keçirilməsi və rejimlərin tənzimlənməsi ilə əlaqəli keçid prosesləri normal istismar rejimlərinə aid edilir. Yuxarıda qeyd olunan hər hansı bir səbəbdən baş verən keçid prosesləri qəza hallarına aid edilir.

Elektrik sistemində QQ-nin sayının azaldılması “Elektrik qurğularının texniki istismar qaydaları”na ciddi riayət edilməsi və elektrotexniki sənaye məhsullarının keyfiyyətinin yüksəldilməsin ilə təmin edilir.

1.3. KEÇİD PROSESLƏRİNİN TƏSVİRİ ÜZRƏ YANAŞMALAR

Sistemin bir qərarlaşmış rejimdən digərinə keşidi zamanı ilkin rejimdə elektrik və ya elktromexaniki dövrə ilə əlaqəli enerjinin miqdarının dərişməsi baş verir. Bu hadisə öz təbiətinə görə vahid bir prosesi təşkil etsə də, təhlil edilərkən bir sıra proseslərdən ibarət altproseslər kimi baxılır. Bu halda hər bir proses özlərinin rejim parametrləri ilə xarakterizə olunur. Keçid proseslərinin ciddi analizi proseslərin həm zaman, həm də məkana görə eyni zamanda (məsələn, qısaqapanma zamanı cərəyanın yaranması və hava xətləri, kabellər, maşının dolaqları və taransformatorlar boyu elektromaqnit dalğlarının yayılması) baxılmasını tələb edir. Lakin, konkret məsələləri xarakterizə edən əsas faktroları nəzərə almaqla, məsələni sadələşdirmək mümkündür. Belə sadələşməni qəbul etməklə, proseslərin məkan üzrə dəyşməsini nəzərə almamaq olar. Rejimlərəd olduğu kimi, keçid prosesləri bir sıra əlamətlərinə görə fərqləndirilir:

1. *Prosesin axma şərtinə görə* - normal keçid rejimlərində normal keçid prosesləri, qəza rejimlərində isə qəza keçid prosesi kimi mühakimə etmək olar. Belə bölünmə şərtidir, belə ki, fiziki proseslərin təbiəti eynidir və o normal və ya qəza halında baş verməsindən asılı deyil;
2. *Baş vermə səbəbinə görə* - həyacanlandırıcı təsirlərin növünə və onların qiymətinə görə;
3. *Qəbul olunmuş sadələşmələrə görə* - prosesin təsvirinə görə;
4. *Prosesin axma surətinə görə* - rejim həyacanlanmalarında xətti sistemlərdə prosesin sonsuz uzunmüddət davam etməsini nəzərə almaq lazımdır. Praktik hesablalamalarda qəbul olunur ki, proses yekunlaşmışdır;
5. *Strukturuna görə* - tədqiq olunan sistem, radial və mürəkkəb ola bilər.

Keçid proseslərinin tədqiqi zamanı çox hallarda real sistemi xəttiləşdirilər, qeyri-xəttiliklər xətti asıllıqlarla əvəz olunur.

1.4. QİSAQAPANMANIN NƏTİCƏLƏRİ

Qısaqapanmanın nəticələrindən bir neçəsini göstərmək olar:

1. Sistemin dayanıqlığının pozulması ilə yaranan sistem qəzaları. Bu qısaqapanmanın ən təhlükəli nəticəsidir və o, kifayət qədər texniki-iqtisadi ziyana gətirib çıxarır.
2. Qısaqapanma cərəyanının təsirindən elektrik avadanlığının həddindən artıq qızması ilə əlaqədar olaraq onun termiki zədələnməsi.
3. Cərəyankeçirici hissələr arasında böyük elektromaqnit qüvvələrin təsirindən elektrik avadanlığının mexaniki zədələnməsi.
4. İstehlakçıların iş şəraitinin ağırlaşdırılması. Gərginliyin 1 san. və ondan çox müddətdə nominaldan aşağı, məsələn 60 – 70% qədər enməsi zamanı sənaye müəssələrində mühərriklərin kütləvi olaraq dayanması baş verə bilər. Bu isə öz növbəsində texnoloji proseslərin pozulmasına və iqtisadi ziyanın yaranmasına səbəb ola bilər.
5. Qeyri simmetrik QQ zamanı qonşu rabitə və siqnalizasiya xətlərinə induksiyalanan elektrik hərəkət qüvvəsi (EHQ) xidmət heyəti üçün təhlükəli ola bilər.

Qısaqapanma zamanı ən böyük təhlükə onun yarandığı yerlə yanaşı olan sistem elementləri üçün yaranır. Qısaqapanmanın yarandığı yerdən və davamiyyət müddətindən asılı olaraq onun nəticəsi yerli (qidalanma mənbəyindən uzaqlıda olan QQ) xarakterli omaqla yanaşı bütün sistemin fəaliyyətində əks oluna bilər.

1.5. QISAQAPANMA HESABLAMALARININ TƏYİNATI

Qısaqapanmadan elektromaqnit keçid proseslərinin hesabatı verilmiş şərtlər daxilində bu və digər qısaqapanmış dövrədə cərəyan və gərginliyin təyin olunmasını nəzərdə tutur. QQ-nın hesabatı layihələndirmə və istismar məslələrində xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Hesablamanın məqsədlərindən asılı olaraq göstərilən parametrlərin maraqlandırılan zaman anında və ya məsələnin qoyuluşundan asılı

olaraq onların keçid prosesi ərzində dəyişmələri hesablanır. Bununla yanaşı, bu və digər avadanıqlar üçün daha xarakterik olan qəza rejimlərinin müəyyən olunması məqsədilə qq cərəyanlarının fərli budaq və düyün nöqtələri üzrə hesablamaları həyata keçirilir.

Qısaqapanma cərəyanlarının hesablamaları aşağıdakı məqsədlərə nail olmaq üçün vacibdir:

1) qəza rejimində istehlakçıların iş şəraitinin təyin edilməsi;
2) aparatların və keçiricilərin seçilməsi və elektrodinamik və termik dayanıqlıq şərtlərinə görə onların yoxlanılması;
3) rele mühafizəsi və avtomatika qurğularının layihələndirilməsi və sazlanması;
4) elektrik birləşmələrinin müqayisə edilməsi, qiymətləndirilməsi və seçilməsi;
5) mühafizə qurğularının layihələndirilməsi və yoxlanılması;
6) rabitə xətlərinə elektrik verilişi xətlərinin təsirinin təyin edilməsi;
7) yerlə birləşdirilmiş neytralların sayının təyini və onların ES-də yerləşdirilməsi;
8) boşaldıcıların seçilməsi;
9) qəzaların analizi;
10) elektrik sistemində müxtəlif sınaqların keçirilməsinə hazırlığın yerinə yetirilməsi.

Qısaqapanma hesabatının dəqiqliyi onun məqsədindən asılıdır. Beləliklə, elektrik aparatlarının seçilməsi və yoxlanılması zamanı hesabatın yüksək dəqiqliyi tələb olunmur, ona görə ki, onların bir növündən digərinə keçid halında aparatların parametrləri pillələrlə dəyişir. Rele mühafizəsi və avtomatika qurğularının seçilməsi zamanı hesabatın dəqiqliyi xeyli yüksək olmalıdır. Bu halda gərginliyin ən böyük meyletmə qiymətini və fazlar arasında bucaqların və s -nin təyin olunması tələb olunur.

YOXLAMA SUALLARI

1. Sistemin iş rejimləri və parametrləri, rejim parametrləri, qərarlaşmış rejim və qəzadan sonrakı rejim kimi anlayışların izahını verin.
2. Elektroenergetika sistemlərində müxtəlif növ qısaqapanmanın başvemə
3. ehtimalı nə qədərdir ?
4. Keçid prosesləri hansı əlamətlərə görə fərləndirilir ?
5. Qısaqapanmaların yaranmasının ən çox təsadüf olunan səbəblərini sayın.
6. Qısaqapanmanın ən ağır nəticələrini göstərin ?
7. Qısaqapanma hesablamalarının məqsədləri nədən ibarətdir?

II Fəsil

KEÇİD PROSESLƏRİNİN HESABLANMASINDA ƏVƏZ SXEMLƏRİNDƏ ELEKTRİK SİSTEMİ ELEMENTLƏRİNİN GÖSTƏRİLMƏSİ

2.1. MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU

Keçid proseslərinə baxılarkən, digər məsələlərdə olduğu kimi, hadisənin riyazi təsviri həyata keçirilir. Yəni, prosesin riyazi modeli (fenomenoloji – Faradey – Maksvel və ya daha çox istifadə olunan praktik – mühədıs) formalaşdırılır. Riyazi modelin növlərindən biri mürəkkəb prosesləri sadə formaya gətirməyə və öyrənilən proseslər haqqında daha aydıın təsəvvür yaratmağa imkan verən əvəz sxemləridir. Mürəkkəb sistemlərin əvəz sxemləri onun elementlərinin induktiv, tutum və aktiv müqavimətlərindən istifadə etməklə təşkil edilir. Əvəz sxemlərinin elementləri həm xətti, həm də qeyri-xətti ola bilər. Bəzən, əvəz sxemləri aktiv və ya passiv ikiqütblü və ya dörtqütblü ilə təsvir olunur. Əksər hallarda əvəz sxeminin elementləri tam və ya reaktiv müqavimətlə ifadə olunur.

Aydındır ki, əvəz sxemlərində baş verən proseslər mürəkkəb proseslərin yalnız bir qisminə şamil oluna bilər. Bu halda, əvəz sxemi hadisənin zamanının bütün anları üçün məqbul hesab oluna və ya yalnız bir xarakterik anı (məsələn, sinxron generatorun əvəz sxemində x_d müqaviməti ilə təsvir olunması) təsvir edə bilər.

Əvəz sxemlərinin sadələşdirilməsi və təsviri hərtərəfli yanaşma tələb edir. Əvəz sxeminin uğursus seçilməsi qeyri-dəqiq və ya yanlış nəticələrə gətirib çıxara bilər.

2.2. SİNXRON MAŞINLAR

Sinxron maşınların təsvir edilmə üsulları keçid prosesinin və onun mərhələlərinin hesablanmasının məqsədindən, hesablanamanın dəqiqliyinə qoyulan tələblərdən və bu maşının tədqiq olunan prosesə təsirindən asılı olaraq seçilir [17].

Keçid proseslərinin hesablanmalarının nəticələrinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edən sinxron maşınları Park-Qorev tənlikləri ilə, digər hallarda isə Lebedev – Jdanov tənlikləri, yaxud baxılan rejimə uyğun olan EHQ və müqavimətlə təqdim etmək lazımdır. Keçid prosesinin yaranmasında ES-in ayrı-ayrı elementlərinin roluna 2.9 bölməsində baxılmışdır.

2.2.1. Üçfazalı sistemin ümumiləşdirilmiş vektoru

Sinxron maşının iş rejimini zamana və fəzadakı yerinə görə dəyişən vektor kimi təsvir etmək olar.

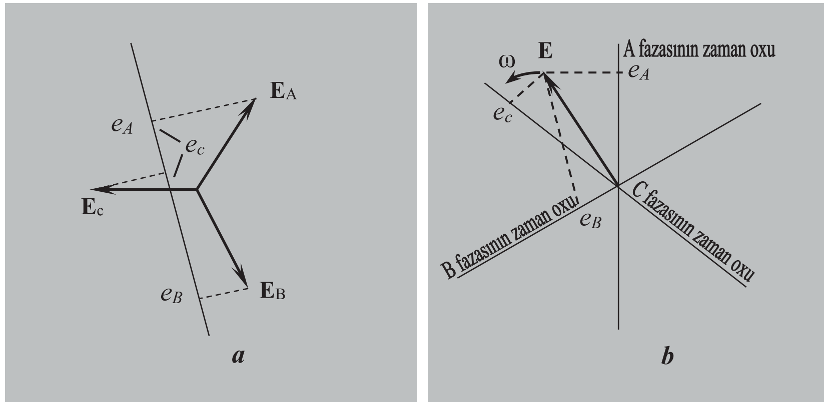
Üçfazalı simmetrik gərginlik və cərəyanın vektorlar sistemi üçün (üç vektor 120^0 sürüşdürülüb) hər bir fazda cərəyanın və ya gərginliyin ani qiyməti müvafiq vektorun zaman oxuna proyeksiyası kimi qəbul edilir. Vektorların bucaq sürəti ilə fırladılması gərginlik və ya cərəyanın ani qiymətinin zamana görə dəyişməsini göstərir (*şək. 2.1, a*).

Eyni zamanda, cərəyanın və ya gərginliyin ani qiymətinin dəyişməsini başqa üsullarla da əldə etmək olar. Əgər hər bir faz üçün özünün zaman oxundan istifadə etsək, onda bir – birinə nəzərən 120^0 sürüşmüş üç ox alarıq. Bu halda ω bucaq sürətilə fırlanan bir **E** vektorunun bu zaman oxları üzərinə proyeksiyası **E** vektorunun ani qiymətinin dəyişməsini verəcəkdir. Qeyd edək ki, zaman oxu üçün

faz ardıcıllığı gərginlik vektorlarının faz ardıcıllığının əksinə olur (*şək. 2.1*, *b*).

Vektorun üç zaman oxu üzrə proyeksiyası onun ayrı-ayrı fazlar üzrə ani qiymətini verirsə belə vektor *üçfazalı sistemin ümumiləşdirilmiş vektoru* adlanır.

Ümumiləşdirilmiş vektorun əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onu asanlıqla rotor dövrəsinin maqnit seli və onun fırlanması ilə əlaqələndirmək olur.



Şəkil 2.1. Üçfazalı sistemdə cərəyan və gərginliyin ani qiymətlərinin dəyişməsi (a) və bu qiymətlərin ümumiləşdirilmiş vektorun köməyi ilə təyini (b)

2.2.2. Sinxron maşınların vektor diaqramı

Sinxron maşının (SM) qərarlaşmış rejiminə nəzər salaq.

SM-nın dempfer dolağı olmayan halında eneinə ox üzrə maqnit sahəsi yalnız stator dolağl ilə əlaqəlidir və stator cərəyanının eninə mürəkkəbəsi ilə müəyyən olunur.

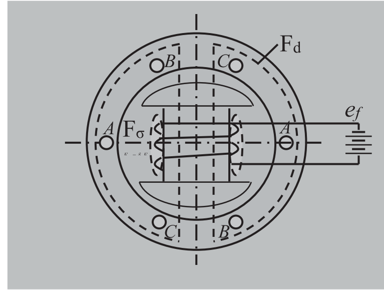
Maşının üzununa ox üzrə manqit selləri onun yüksüz işləmə rejimində sabit cərəyan təsirləndirmə dolağından axaraq F_f maqnit selini yaradır (*şək.2.2*). Bu maqnit selinin bir hissəsi F_d statorun dəmirində qapanır. Faydalı manit sahəsinə mütənasib olan rotorun səpələnmə maqnit seli adlanan digər $F_{\sigma f}$ hissəsi hava aralığında qapanır (statora daxil olmur) və aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$F_{\sigma f} = \delta_f F_f \,,$$

burada, δ_f – rotorun səpələnmə əmsalı adlanır.

Maşının hava aralığında F maqnit selinin fırlanması zamanı stator dolağında EHQ induksiyalanır. Üç faza üçün bu EHQ-nin qiyməti aşağıdakı formullarla təyin olunur (*Əlavə 1*):

$$\left.\begin{aligned} E_A &= -\frac{d\Psi_A}{dt} \\ E_B &= -\frac{d\Psi_B}{dt}, \\ E_C &= -\frac{d\Psi_C}{dt} \end{aligned}\right\}, \qquad (2.1)$$



Şəkil 2.2. Yüksüz işləmədə sinxron maşının ani selləri

burada Ψ_A, Ψ_B, Ψ_C – fazların dolaqları ilə F_d maqnit selinin ilişmə selləridir (bütün kəmiyyətlər nisbi vahidlərdə ifadə edildiyinə görə mütənasiblik əmsalları buraxılmışdır).

Maqnit selinin əsas harmonikasını nəzərə alaraq ilişmə seli üçün (*şək. 2.3*) aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

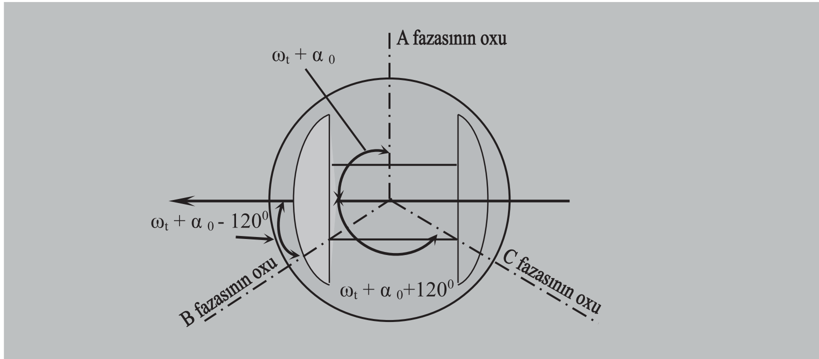
$$\left.\begin{aligned} \Psi_{At} &= \Psi_{d\Sigma} \cos(\omega t + \alpha_0) \\ \Psi_{Bt} &= \Psi_{d\Sigma} \cos(\omega t + \alpha_0 - 120^0) \\ \Psi_{Ct} &= \Psi_{d\Sigma} \cos(\omega t + \alpha_0 + 120^0) \end{aligned}\right\}, \qquad (2.2)$$

burada $\Psi_{d\Sigma}$ – ilişmə selinin maksimal qiymətidir və o, rotor oxunun qütbləri ilə fazların oxları üst – üstə düşdüyü zaman əldə olunur;

α_0 – ixtiyari bucaqdır.

(2.2) ifadəsini (2.1) -də yerinə yazaraq növbəti ifadəni alırıq:

$$\left.\begin{aligned} E_A &= \omega\Psi_{d\Sigma}\sin(\omega t+\alpha_0) \\ E_B &= \omega\Psi_{d\Sigma}\sin(\omega t+\alpha_0-120^0) \\ E_C &= \omega\Psi_{d\Sigma}\sin(\omega t+\alpha_0+120^0) \end{aligned}\right\} , \qquad (2.3)$$



Şəkil 2.3. Sinxron maşının dolaqlarının qarşılıqlı yerləşməsi

Elektrik hərəkət güvvəsinin bu qiymətini ω bucaq sürəti ilə fırlanan ümumiləşdirilmiş EHQ vektoru $\mathbf{E}_q$ -nün üç zaman oxu üzrə proyeksiyası və onun, maşının maqnit oxu ilə üst-üstə düşməsi kimi təsəvvür etmək olar (*şək. 2.4*). Ümumiləşdirilmiş EHQ vektoru aşağıdakı kimi təyin edilir.

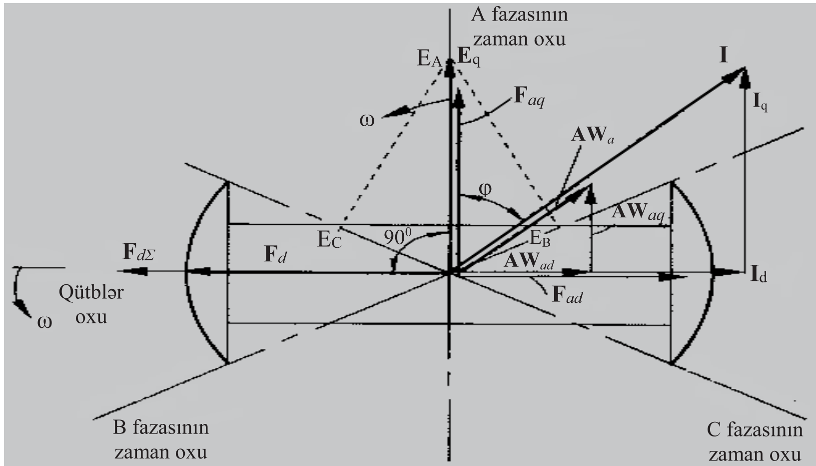
$$\mathbf{E}_q = \omega\mathbf{\Psi}_d$$

Əgər hər faz üzrə zaman oxunu dolaqların oxu üzərində yerləşdirsək, onda (2.2) və (2.3) bərabərliklər sistemindən də göründüyü kimi, $\mathbf{E}_q$ vektoru maqnit selinin $\mathbf{F}_d$ və ilişmə selinin $\mathbf{\Psi}_{d\Sigma}$ vektorlarından 90^0 geri qalır. ω bucaq sürəti ilə fırlanan ümumiləşdirilmiş $\boldsymbol{E}_q$ və $\mathbf{\Psi}_{d\Sigma}$ vektorlarının dövrələrin oxları ilə üst-üstə düşən *a, b, c* üç zaman oxu üzrə proyeksiyası onların hər üç faz üzrə ani qiymətini verəcəkdir.

Generatorun yüklənməsi zamanı stator dolağından $\mathbf{E}_q$ EHQ-dən φ bucağı qədər geri qalan simmetrik cərəyanlar axır ($\alpha_0 = 0$):

$$I_A = I\sin(\omega t - \varphi),$$
$$I_B = I\sin(\omega t - \varphi - 120^0),$$
$$I_C = I\sin(\omega t - \varphi + 120^0),$$

yəni I_A, I_B, I_C cərəyanları **I** vektorunun *a,b,c* fazalarının oxuna proyeksiyası kimi alınır.



Şəkil 2.4. Sinxron maşının ümumiləşdirilmiş vektorları

Üçfazlı cərəyan stator dolağında, statorun boşluğunda fırlanan amper-sarğı (Beynəlxalq vahidlər sistemində amper – sarğı dolağın yaratdığı maqnit hərəkət qüvvəsinin ölçü vahididir) - maqnit elektrik hərəkət qüvvəsini (statorun reaksiya maqnit selini) yaradır [13]. Onların amplitudu faz dolağının oxu ilə o vaxt üst-üstə düşür ki, həmin fazda cərəyanın ani qiyməti maksimuma çatmış olsun. Ona görə də vektor diaqramında statorun amper-sarğısının amplitudu cərəyanın ümumiləşdirilmiş vektorunun istiqaməti ilə üst-üstə düşməlidir. Statorun fırlanan amper – sarğıları maşının hava

boşluğunda maqnit sahəsi yaradır. Onlar maşının rotorunun fırlanma sürətinə bərabər olan sürətlə fırlanırlar, ona görə də rotora nisbətən hərəkətsiz olur. Statorun amper- sarğılarının amplitudu rotorun qütblərinin oxuna nisbətən $90^0 + \varphi$ bucağı qədər sürüşür və maşının iş rejimindən asılı olaraq müxtəlif qiymətlər ala bilər.

Aydın qütblü maşınlar üçün uzununa və eninə oxlarda maqnit müqaviməti müxtəlifdir. Ona görə də statorun amper-sarğılarının yaratdığı maqnit selinin qiyməti onların amplitudunun rotorun oxu ilə üst-üstə düşməsindən yaxud ona nisbətən 90^0 sürüşməsindən asılıdır. Maşının uzununa və eninə oxlarında maqnit müqavimətlərinin müxtəlifliyini nəzərə
almaq üçün cərəyanın ümumiləşdirilmiş vektoru **I** və onun yaratdığı statorun amper-sarğısını qütblərin oxu ilə üst-üstə düşən $\mathbf{I}_d$ və $\mathbf{AW}_{ad}$ uzununa mürəkkəbələrə və bu oxa perpendikulyar olan $\mathbf{I}_q$ və $\mathbf{AW}_{aq}$ eninə mürəkkəbələrə ayırırlar. Statorun uzununa amper-sarğısı qütblərin oxu ilə üst-üstə düşən statorun uzununa reaksiyasının maqnit seli $\mathbf{F}_{ad}$-ni yaradır (*şək. 2.4*). Bu maqnit seli təsirlənmənin əsas selini azaldır.

Statorun eninə amper-sarğıları statorun eninə reaksiyasının maqnit selini $\mathbf{F}_{aq}$-i yaradır ki, onların da istiqaməti amper – sarğıların istiqaməti ilə üst-üstə düşür, yəni qütblərin oxuna nisbətən 90^0 sürüşdürülmüş olur. Bu maqnit seli, qütblərin bir tərəfində təsirlənmənin əsas maqnit selini zəiflədir və digər tərəfində gücləndirir, beləliklə, hava aralığında maqnit seli oxunu sürüşdürür.

Təsirlənmə dolağı və statorun amper-sarğılarının birgə təsiri maşının hava aralığında hər hansı F_i yekunlaşdırıcı maqnit selini yaradır. Bu maqnit selinə uyğun olan ilişmə seli və onların induksiyaladığı stator dolaqlarının EHQ-si ümumiləşdirilmiş $\mathbf{\Psi}_i$ və $\mathbf{E}_i$ vektorları ilə təsvir oluna bilər. İlişmə seli $\mathbf{\Psi}_i$-ni təsirlənmə maqnit selinin yaratdığı ilişmə seli $\mathbf{\Psi}_d$ və statorun reaksiya maqnit sellərinin yaratdığı ilişmə selləri $\mathbf{\Psi}_{ad}$ və $\mathbf{\Psi}_{aq}$ -nün həndəsi cəmi kimi göstərmək olar. Eyni ilə də daxili EHQ $\mathbf{E}_i$-yə ayrı-ayrı mürəkkəbələrin ilişmə sellərinin induksiyaladığı EHQ-lərin həndəsi cəmi kimi baxmaq olar (*şək. 2.5*). Uzununa reaksiya maqnit seli F_{ad} cərəyanın uzununa mürəkkəbəsinə $\mathbf{I}_d$ -yə (doyma olmadan) mütənasibdir, eninə reaksiya maqnit seli F_{aq} isə $\mathbf{I}_q$ -yə mütənasibdir. Beləliklə, ilişmə seli onların

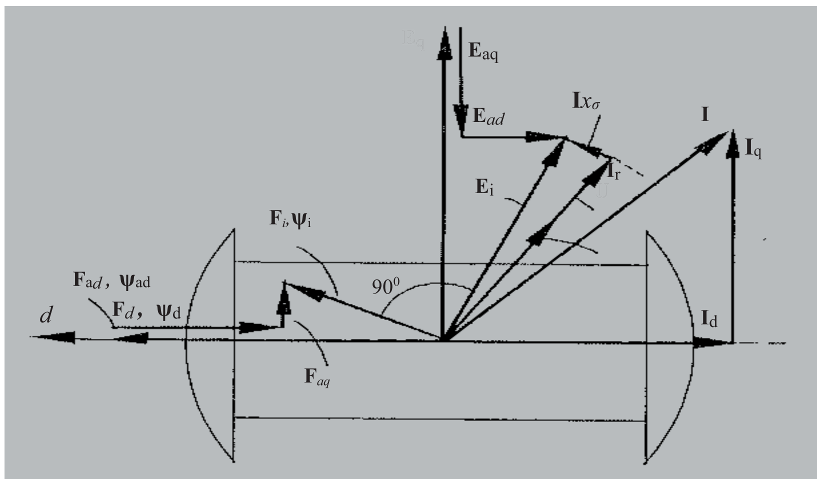
induksiyaladığı EHQ maqnit selinə mütənasib olduğuna görə, statorun reaksiya EHQ -si üçün aşağıdakı ifadələri yazmaq olar:

$$E_{aq} = I_d X_{ad}, \qquad E_{ad} = I_q X_{aq},$$

burada X_{ad}, X_{aq} – mütənasiblik əmsallarıdır və uyğun olaraq statorun uzununa və eninə reaksiyasının induktiv müqavimətləri adlanırlar.

Statorun uzununa reaksiya induktiv müqviməti X_{ad} onun eninə reaksiya induktiv müqaviməti X_{aq} -dən kifayyətə qədər çoxdur. Bu onunla izah olunur ki, statorun uzununa reaksiya seli eninə reaksiya selinə nisbətən daha az hava aralığı ilə qarşılaşır.

Maşının çıxışındakı gərginliyi *U* statorun səpələnmə induktiv müqavimətində və onun aktiv müqavimətlərinin gərginlik düşgüləri $İx_\sigma$ və İr nəzərə alınaraq təyin olunur (*şək. 2.5*).



Şəkil 2.5. Yüklənmə zamanı sinxron maşının vektor diaqramı

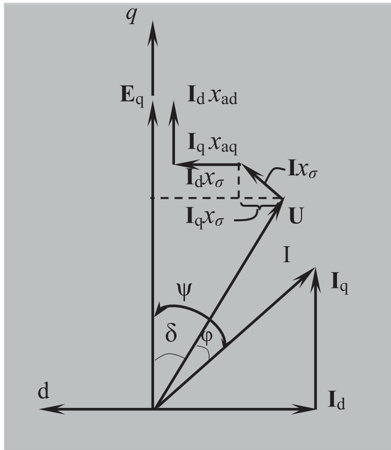
Sinxron maşının vektor diaqramını bir qədər dəyişdirmək də mümkündür. Səpələnmə induktiv müqavimətinin x_σ gərginlik düşgüsünü iki mürəkkəbəyə, yəni cərəyanın eninə və uzununa uyğun mürəkkəbələrə ayıraq (bu halda aktiv müqaviməti nəzərə almırıq)

(*şək. 2.6*). Bu zaman maşında olan gərginlik düşgüsünü cərəyanın eninə və uzununa mürəkkəbələrini gərginlik düşgülərinin həndəsi cəmi kimi göstərmək olar.

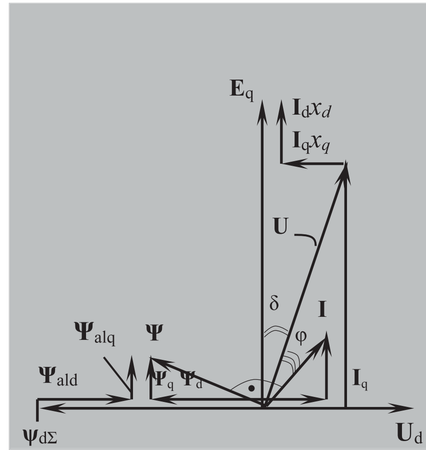
Vektor diaqramından görünür ki, aydın qütblü sinxron maşın cərəyanın uzununa və eninə mürəkkəbələri müxtəlif induktiv müqavimətə malikdir. Bu müqavimətlər induktiv müqavimətin eninə x_q və uzununa x_d sinxron induktiv müqavimətlər adlanırlar. Vektor diaqramına uyğun olaraq (*şək. 2.6*) formullara nəzər salaq:

$$x_d = x_\sigma + x_{ad}, \qquad x_q = x_\sigma + x_{aq},$$

İnduktiv müqavimətlər olan x_d və x_q-nin fərqli olması, statorun dairəsi boyunca hava aralığının qeyri-bərabər olması ilə izah olunur. Belə ki, eyni maqnit hərəkət qüvvəsi (MHQ) zamanı statorun reaksiyası müxtəlif reaksiyaların maqnit selini yaradır. Aydın görünən qütblü maşınlarda eninə istiqamətdə olan maqnit müqaviməti uzununa istiqamətdə olan maqnit müqavimətindən çox olduğu üçün eninə sinxron induktiv müqavimət uzunda olandan daha kiçik alınır.



Şəkil 2.6. Aydın qütblü sinxron maşının vektor diaqramı



Şəkil 2.7. Sinxron generatorun ilişmə seli gərginliyinin mürəkkəblərinin vektor diaqramı

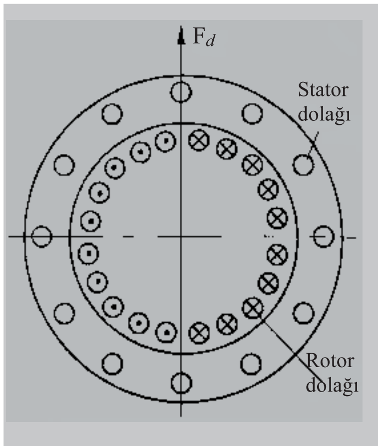
Aydın qütblü maşınların ilişmə selinin və gərginliyinin vektor diaqramı *şək. 2.7*-də verilib. Burada statorun reaksiyasının uzununa ilişmə seli onun səpələnməsi nəzərə alınmaqla

$$\Psi_{ald} = I_d x_d \text{ -yə}$$

statorun reaksiyasının eninə ilişmə seli onun səpələnməsi nəzərə alınmaqla

$$\Psi_{alq} = I_q x_q \text{ -yə bərabərdir.}$$

Qeyri-aydın qutblü sinxron maşınlarda hava aralıqlarının eni bir-birinə bərabərdir (*şək. 2.8*). Belə maşınlarda statorun reaksiyasının uzununa və eninə selləri üçün maqnit müqavimətləri də bərabərdir. Ona görə də uzununa və eninə sinxron induktiv müqavimətlər bərabərdirlər ($x_d = x_q$).



Şəkil 2.8 .Qeyri-aydın qütblü maşının sxemi

Bu ilişmə sellərinin istiqaməti cərəyanın istiqaməti ilə üst-üstə düşür. Maşının çıxışlarındakı gırginliyi **U** yekun ilişmə seli **Ψ** ilə təyin olunur və ondan 90^0 geri qalır:

$$\mathbf{U} = \omega\mathbf{\Psi},$$

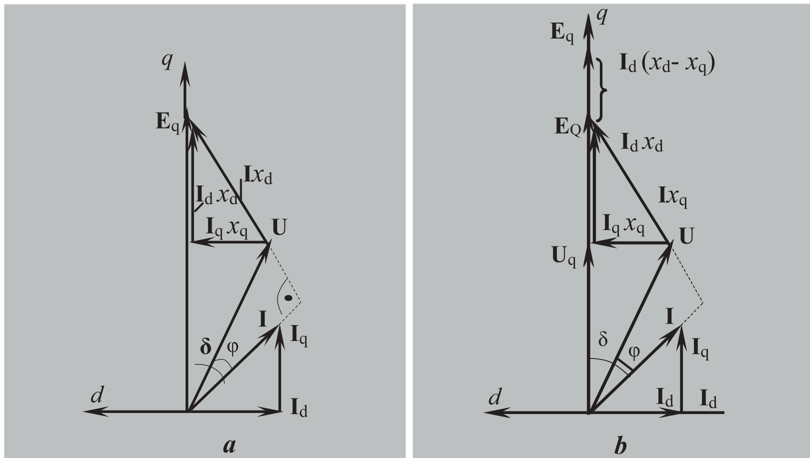
gərginliyin mürəkkəbələri isə aşağıdakı formullarla təyin olunur.

$$\mathbf{U}_q = \omega\mathbf{\Psi}_d = \omega\left(i_f x_{ad} - \mathbf{I}_d x_d\right), \qquad (2.4)$$
$$\mathbf{U_d} = \omega\mathbf{\Psi}_q = \omega\mathbf{\Psi}_{ald} = \mathbf{I}_q x_q .$$

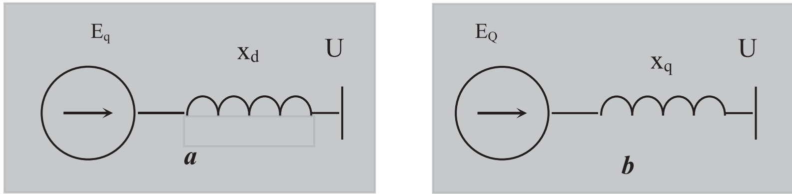
Maşının vektor diaqramı *şək. 2.9, a*-da verilmişdir. Şəkildən görünür ki, maşının sıxaclarında gərginliyi təyin etmək üçün

cərəyanı uzununa və eninə tərkiblərə ayırmaq vacib deyil. Bunun üçün tam cərəyanın sinxron induktiv müqavimətə hasili $\dot{\mathbf{I}}x_d$ vektorunu $\mathbf{E}_q$ vektorundan çıxmaq kifayətdir. Beləliklə, qeyri – aydın qütblüi sinxron maşını *şək. 2.10 a* -da verilən əvəz sxemi ilə göstərmək olar. Aydın qütblü maşınlarda isə uzununa və eninə oxlarda induktiv müqavimət bərabər olmadığına görə, ciddi baxsaq maşını bir müqavimətlə göstərmək mümkün deyil. Belə olduğu halda cərəyanı və gücü təyin etmək üçün həqiqi maşının əvəzinə eninə və uzununa induktiv müqavimətlərinə görə eyni olan fiktiv maşına baxılır. Müqaviməti və EHQ elə götürürülür ki, maşının çıxışlarında gərginliyin U və bucağın δ eyni qiymətində onun aktiv və reaktiv gücü həqiqi maşındakı kimi alınsın. Əgər maşının müqavimətini x_q -yə bərabər qəbul etsək, bu şərt təmin olunar. Belə bir fiktiv maşının EHQ-si $\mathbf{E}_Q$ vektoru ilə göstərilir və o, hər zaman $\mathbf{E}_q$ vektoru (*şək. 2.9*, *b*) ilə üst- üstə düşür.

Beləliklə, fiktiv EHQ $\mathbf{E}_Q$ -ni daxil etməklə aydın qütblü maşını ona ekvivalent olan x_q müqavimətli maşınla əvəz etmək olar və onun üçün *şək. 2.10*, *b* -də göstərilən ekvivalent əvəz sxemini tərtib etmək olar.



Şəkil 2.9. Qeyri–aydın qütblü (a) və aydın qutblü (b) maşının vektor diaqramı



Şəkil 2.10. Qeyri–aydın qütblü (a) və aydın qütblü (b) maşının əvəz sxemi

2.2.3. Sinxron maşının zaman sabitləri

Zaman sabiti maşının rejimi kəskin dəyişən zaman onun müxtəlif dolaqlarında cərəyanın sönməsini (tədricən azalmasını) təyin edir.

Sinxron maşını rotorun nominal fırlanma tezliyi zamanı təyin edilən, aşağıda verilən zaman sabitləri xarakterizə edir:

- T_{d0} – *stator dolağının açıq halında* (yəni statorun reaksiya seli mövcud olmadıqda) *təsirlənmə dolağının zaman sabiti*, açıq stator dolağının gərginliyinin tədricən dəyişən mürəkkəbəsinin, maşının iş rejimi qəflətən dəyişdikdən sonra öz başlanğıc qiymətindən 1/e = 0.368 -ə qədər sönməsinə sərf olunan müddət (turbogeneratorlar üzrə 5÷12 saniyə, hidroaqreqatlar üzrə isə 2÷8 saniyə təşkil edir) olmaqla növbəti ifadə ilə təyin edilir,

$$T_{d0} = \frac{x_f}{r_f},$$

  burada, x_f, r_f - uyğun olaraq təsirlənmə dolağının aktiv və induktiv müqavimətləridir;
- T''_d – *qısaqapanmış stator dolağının uzununa ox üzrə keçid zaman sabiti*, statorun uzununa cərəyanının tədricən dəyişən (təsirlənmə dolağı selinin keçid mürəkkəbəsinin dəyişməsi ilə şərtəndirilən) mürəkkəbəsinin, maşının iş rejimi qəflətən dəyişdikdən sonra öz başlanğıc qiymətindən 1/*e* = 0.368-ə qədər sönməsinə sərf olunan müddətdir (adətən 0,6÷2 saniyə təşkil edir);

$$T'_d = \frac{x'_f}{r_f},$$

burada, x'_f - təsirlənmə dolağının keçid induktiv müqavimətidir;

- T''_d – *qısaqapanmış stator dolağının uzununa ox üzrə ifrat keçid zaman sabiti*, bir neçə ilkin period ərzində müşahidə olunan, statorun uzununa cərəyanının cəld dəyişən (dempfer dolağı selinin ifratkeçid mürəkkəbəsinin dəyişməsi ilə şərtəndirilən) mürəkkəbəsinin maşının iş rejimi qəflətən dəyişdikdən sonra öz başlanğıc qiymətindən 1/*e* = 0.368-ə qədər sönməsinə sərf olunan müddətdir;
- T_a – *qısaqapanmış stator dolağının zaman sabiti*, stator dolağının qısaqapanmış halında cərəyanın aperiodik (sərbəst) mürəkkəbəsinin, maşının iş rejimini qəflətən dəyişdikdən sonra, öz başlanğıc qiymətindən 1/*e* = 0.368-ə qədər sönməsinə sərf olunan müddətdir,
-

$$T_a = \frac{x_2}{r},$$

burada, x_2 - maşının stator dövəsinin əks ardıcıllıqlı induktiv müqavimətidir.

Yuxarıda qeyd olunan induktiv müqavimətlərin fizikası növbəti bölmələrdə təsvir olunur.

2.2.4. Sinxron maşının keçid EHQ-si və induktiv müqaviməti

QQ şəraitində sinxron maşınların əvəz sxemlərinin parametrləri keçid elektromaqnit proseslərin onların dövrələrində təsirini tam təsvir etməlidir. Bu məqsədlə, keçid prosesinin başlanğıc anında sinxron maşını hansı EHQ və reaktivliklə xarakterizə edilməsinin mümkün olmasını aydınlaşdıraq. Bunun üçün hesab edək ki, keçid prosesi maşının statorunun sıxaclarında üçfazalı QQ nəticəsində baş verib. Sinxron maşının sıxaclarında və ya ona yaxın şəbəkədə QQ-nın yaranması maşının hava boşluqlarında yekun

maqnit selinin dəyişməsi ilə şərtləndirlən (səciyyələnən) keçid prosesinin yaranmasına gətirib çıxarır. Keçid prosesində EHQ və qısaqapanmış dövrənin cərəyanının qiymətləri qərarlaşmış rejimdə mövcud olan nominal qiymətlərindən meyletmələrə məruz qalır.

Dempfer dolağı olmayan maşının rotorunun uzununa oxunda maqnit sellərinin balansına növbəti rejimlərdə baxaq:

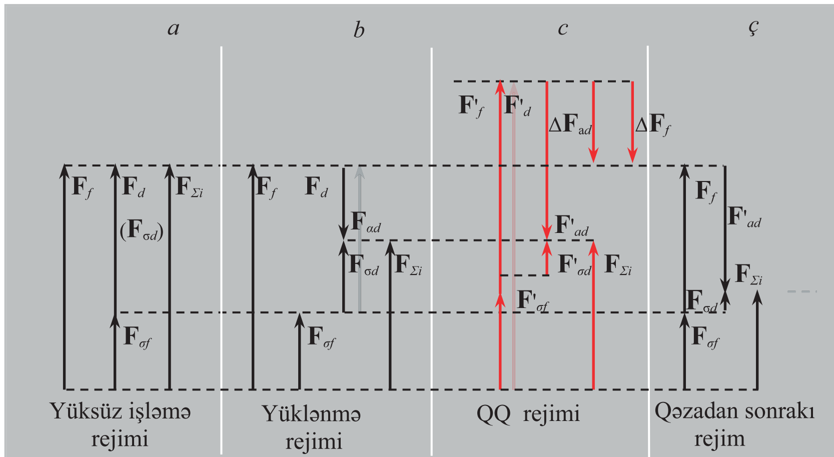
a) yüksüz işləmə rejimi;

b) yüklənmə rejimi;

c) Qısaqapanma rejimi;

ç) qəzadan sonrakı QQ-nin qərarlaşmış rejim.

Bu rejimlər üçün maqnit sellərinin balansı *şək. 2.11*-də göstərilib.



Şəkil 2.11. Sinxron maşının maqnit sellərinin balansı: F_f *– təsirlənmə dolağının ümumi (tam) seli;* F_d *– təsirlənmə dolağının yaratdığı faydalı sel;* $F_{\sigma f}$ *– təsirlənmə dolağının səpələnmə seli;* $F_{\alpha d}$, $F'_{\alpha d}$ *– statorun uzununa reaksiyasının selləri;* $F_{\Sigma i}$ *– yekun maqnit seli;* $F_{\alpha d}$, $F'_{\alpha d}$ *– hava aralığında uzununa sellər.*

Maşının *yüksüz işləmə* rejimində təsirlənmə cərəyanı ilə yaradılan təsirlənmə dolağının ümumi (tam) seli F_f rotorun səpələnmə seli $F_{\sigma f}$ və faydalı sel F_d-dən ibarət olmaqla təsirlənmə dolağı ilə ilişdirilmiş yekun maqnit seli $F_{\Sigma i}$-yə bərabərdir ($F_f = F_{\Sigma i}$).

Doymamış maşında təsirlənmə dolağının faydalı selinə mütənasib olan $F_{\sigma f}$ səpələnmə seli F_f selinin sabit bir hissəsini təşkil edir və o, təsirlənmə dolağının səpələnmə əmsalı ilə xarakterizə olunur:

$$\sigma_f = \frac{\boldsymbol{F}_{\sigma f}}{\boldsymbol{F}_f}$$

Yüklənmə rejimində stator cərəyanının uzununa mürəkkəbəsi ilə təyin olunan statorun reaksiya seli – $\boldsymbol{F}_{\alpha d}$ yaranır. Bu maqnit seli təsirlənmə dolağına ilişmişdir və onun istənilən dəyişməsi rotor dövrəsində EHQ yaradır ki, bu qüvvənin yaratdığı cərəyan maqnit selinin dəyişməsini kompensasiya etməyə çalışır. Nəticə etibarı ilə yaranmış $\boldsymbol{F}_{\alpha d}$ seli yekun $\boldsymbol{F}_{\Sigma i}$ selini azaldır. Təsirlənmə dolağının i_f cərəyanın yaratdığı maqnit selinin işləmə seli Ψ_f aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$\Psi_f = i_f x_f, \qquad (2.4a)$$

burada x_f – təsirlənmə dolağının induktivliyidir.

Stator cərəyanının uzununa mürəkkəbəsi I_d ilə yaradılan statorun reaksiya seli $F_{\alpha d}$ də təsirlənmə dolağ ilə əlaqəli olduğuna görə növbəti ilişmə selini müəyyən edir:

$$\Psi_{ad} = I_d x_{ad},$$

burada x_{ad} – statorun reaksiya induktiv müqavimətidir.

Lens qaydasına uyğun olaraq (əlavə *1*-ə bax) təsirlənmə dolağının ümumi (tam) ilişmə seli aşağıdakı formul ilə təyin olunur.

$$\Psi_{\Sigma i} = \Psi_f - \Psi_{ad} = i_f x_f - I_d x_{ad}. \qquad (2.5)$$

Qeyd edək ki, statorun tam maqnit seli yalnız rotora sızan $F_{\alpha d}$ statorun raksiya seli ilə deyil, eləcədə statrun səpələnmə maqnit seli ilə təyin olunur. Bunu nəzərə alaraq aşağıda qeyd olunan maqnit sellərinin sızıb keçdiyi stator dolağının ilişmə selinə baxaq:

a) statorun reaksiya seli $F_{\alpha d}$;

b) statorun səpələnmə seli F_σ;

c) təsirlənmə dolağının faydalı maqnit seli F_d.

Nəticə etibarı ilə stator dolağının ilişmə selini aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\Psi_d = i_f x_{ad} - I_d\left(x_\sigma + x_{ad}\right) = i_f x_{ad} - I_d x_d, \tag{2.6}$$

burada x_σ – stator dolağının səpələnmə müqaviməti;

$x_d = x_\sigma + x_{ad}$ – stator dolağının uzununa oxu üzrə sinxron induktiv müqavimətidir.

(2.6) bərabərliyində birinci mürəkkəbə təsirlənmə dolağının faydalı maqnit seli ilə təyin olunan statorun ilişmə seli, ikinci mürəkkəbə isə statorun uzununa reaksiya və statorun səpələnmə maqnit seli ilə müəyyən olunur.

Fırlanma tezliyinin dəyişməyən halında generator gərginliyinin eninə mürəkkəbəsi U_q stator dolağının ilişmə selinə Ψ_d (rotorun faydalı selinə) mütənasibdir, nisbi vahidlərdə isə ona bərabərdir:

$$\Psi_{d*} = U_{q*}.$$

Əgər maşının sıxaclarında *QQ zamanı* stator cərəyanının* aperiodik (rotor cərəyanının periodik) mürəkkəbəsini nəzərə almasaq I_d cərəyanı sıçrayışla dəyişəcək. Bu halda Ψ_{ad} statorun reaksiya maqnit selini sıçrayışla artıran $\Delta\Psi_{ad}$ ilişmə seli yaranır. Stator dolağı kiçik aktiv müqavimətə malik olduğuna görə bu sel F_f əsas təsirlənmə selinə əks istiqamətlənmişdir və onu azalma istiqamətində dəyişməyə cəhd göstərir. Digər tərəfdən, maşında daha çox induktiv müqvimətə malik olan təsirlənmə dolağının yekun ilişmə selinin QQ-nin başlanğıc anında ani olarq dəyişə bilməz. Bu səbədə görə QQ zamanı rotorun yekun maqnit seli sabit qaldığına görə, onda təsirlənmə dolağının seli və müvafiq olaraq onunla eyni bir vaxtda təsirlənmə cəryanı i_f sıçrayışla dəyişir. Bununla, F_f selini artıran ΔF_f seli yaranır. F_f selinin artması ilə ona mütənasib olaraq $F_{\sigma f}$ seli artır. Bu isə $F_{\sigma d}$ selini $F'_{\sigma d}$ qiymətinə qədər azaldır (*şək. 2.11, c*). Beləliklə, qısaqapanmanın başlanğıc anında ancaq $F_{\Sigma i}$ seli sabit qalır (Lens qanununa görə maqnit selinin ΔF_{ad} qədər dəyişməsi bu seli kompensasiya edən təsirlənmə dolağının ΔF_f cavab reaksiyası selini yaradır).

Qərarlaşmış rejimdə təsirlənmə dolağında yaranmış sərbəst cərəyanlar tam sönür və stator reaksiyası tam özünü büruzə verir (*şək. 2.11.ç*).

QQ anı yalnız rotorun yekun selinin sabit qalmasını nəzərə alaraq $F_{\Sigma i}$ -nin ilişmə selinə uyğun olan EHQ-ni təyin etmək üçün (2.5) -dən i_f -i təyin edək:

$$i_f = \frac{\Psi_{\Sigma i} + I_d x_{ad}}{x_f}.$$

i_f -in ifadəsini (2.6) bərabərliyində yerinə yazsaq, aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\Psi_d = U_q = \frac{x_{ad}}{x_f}(\Psi_{\Sigma i} + I_d x_{ad}) - I_d x_d,$$

$$U_q = \psi_{\Sigma i}\frac{x_{ad}}{x_f} - I_d\left(x_d - \frac{x_{ad}^2}{x_f}\right). \qquad (2.7)$$

(2.7) ifadəsini başqa cür də yazmaq olar:

$$U_q = E_q^{/} - I_d x_d^{/}, \qquad (2.8)$$

burada, $x_d^{/} = \boldsymbol{x_d} - \frac{\boldsymbol{x_{ad}^2}}{\boldsymbol{x_f}}$ – generatorun keçid induktiv müqaviməti;

$\mathrm{E}_\mathrm{q}^{/} = \Psi_{\Sigma i}\frac{x_{ad}}{x_f}$ – keçid induktiv müqavimətinə uyğun EHQ-nin uzununa mürəkkəbəsidir.

---

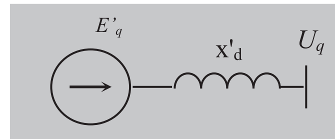
*Aperiodik mürəkkəbə iki səbəbdən nəzərə alınmaya bilər: onun tez (bir neçə mərhələdə) bir zamanda sönməsi; Mrəkkəbələrin yaratdığı maqnit seli statora nisbətən tərpənməzdir (sükunətdədir) və təsirlənmə dolağının cərəyanı ilə qarşılıqlı əlaqədə olaraq orta qiyməti sıfıra yaxın olan döyünən xarakterli fırlanma moment yaradır. Aperiodik mürəkkəbə maşının yırğalanmasına təsir göstərmir və dayanıqlığı tədqiq edən zaman nəzərə alınmaya bilər.

E'_q EHQ-si maşının həqiqi EHQ-si deyil. O, təsirlənmə dolağının ümumi işləmə selinə Ψ_i mütənasib olan bir şərti kəmiyyəti ifadə edir və ona görə də sinxron maşının iş rejiminin pozulmasının ilkin anında o da dəyişməz qalır. E'_q -in sabitliyi sinxron maşının EHQ-sini təsvir etməyə imkan verən çox vacib, bundan əvvəlki rejimdə hesablanmış və keçid prosesinin ilkin anında dəyişməyən xassəsidir.

Sonradan E'_q $T_{d0} = I/r_f$ zaman sabiti ilə dəyişərək təsirlənmə cərəyanının qərarlaşmış qiymətinə uyğun olan qiymətə yaxınlaşmağa çalışır.

Rotorun eninə oxunda hər hansı qısaqapanmış kontur olmadığı halda aydındır ki,

$$E_d^{/} = 0, \quad x_q^{/} = x_q \ .$$



Səkil 2.12. Aydın qütblü sinxron Maşının keçid rejimində əvəz sxemi.

Beləliklə, aydın qütblü maşın, eyni ilə də dempfer dolağı olmayan qeyri-aydın qütblü sinxron maşın keçid rejimində E'_q EHQ-si və ona uyğun gələn x'_q kimi əvəz sxemi (*şək. 2.12*) ilə təqdim oluna bilər.

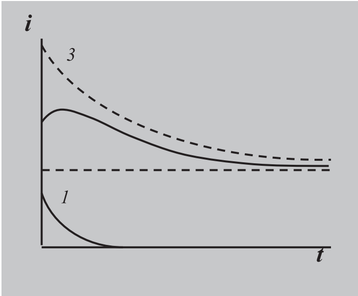
Keçid prosesin başlanğıc anında dempfer dolaqlı sinxron maşının EHQ və induktiv müqaviməti hər iki dolağın parametrlərindən asılıdır.

2.2.5. Sinxron maşının ifrat keçid EHQ-si və induktiv müqaviməti

Dempfer dolağı olduqda sinxron maşının uzununa oxu üzrə statorun reaksiyasının kompensasiyası yalnız təsirlənmə dolağının cəryanı ilə deyil, həm də dempfer dolağının cərəyanı ilə təmin olunur ki, bunun nəticəsində də dempfer dolağı olan halda kompensasiya onun olmayan halına nisbətən daha dolğun təmin olunur.

Həmçinin təsirlənmə dolağında cərəyanın dəyişməsi də fərqli olur.Rejim pozulduğu anda təsirlənmə dolağında cərəyanın dəyişmə

qiyməti, dempfer dolağının olmayan halına nisbətən daha kiçik olur. Bununla, dempfer dolağında da təsirlənmə dolağının cərəyanına nisbətən daha tez sönən cərəyan yaranır. Onların sönməsi dövründə təsirlənmə dolağında cərəyan müvafiq qiymətə qədər artır. Sanki, cərəyanın dempfer dolağından təsirlənmə dolağına transferi baş verir (*şək. 2.13*).



Şəkil 2.13. Keçid rejimində sinxron maşının rotor dolağındakı cərəyanlar: dempfer dolağında (1-ci əyri), təsirlənmə dolağında (2-ci əyri), dempfer dolağı olmayan maşının təsirlənmə dolağında (3-cü əyri)

Təsəvvür edək ki, rotorda təsirlənmə dolağından əlavə uzununa və eninə oxların hər biri üzrə bir ədəd də dempfer dolağı var. Hesabatların sadə olması üçün qəbul edək ki, statorun dolaqları və rotorun uzununa oxu üzrə onun hər iki dolaqları öz aralarında F_{ad} ümumi qarşılıqlı induksiya seli ilə əlaqədardırlar və bu induksiya uzununa reaksiyanın x_{ad} reaktivliyini təyin edir. Belə bir maşında selin qəflətən artımı ΔF_{ad} rotorun cavab reaksiyasını yaradar və o, təsirlənmə dolağının ΔF_f və uzununa dempfer dolağının ΔF_{id} sellərinin olan artımından yaranır.

Yekun ilişmə sellərinin balansı dəyişməz qalmalıdır, yəni aşağıdakı şərt yerinə yetirilməlidir:

– təsirlənmə dolağı üçün

$$\Delta I_f\left(x_{\sigma f} + x_{ad}\right) + \Delta I_{ld} x_{ad} + \Delta I_d x_{ad} = 0; \qquad (2.9)$$

– uzununa dempfer dolağı üçün

$$\Delta I_{ld}\left(x_{\sigma ld} + x_{ad}\right) + \Delta I_f x_{ad} + \Delta I_d x_{ad} = 0; \qquad (2.10)$$

burada ΔI_f – statora gətirilmiş təsirlənmə cərəyanının sıçrayışı*;

ΔI_{id} – statora gətirilmiş uzununa dempfer dolağındakı

başlanğıc cərəyanı;

$x_{\sigma f}$ və $x_{\sigma ld}$ – təsirlənmə dolağının və uzununa dempfer dolağının səpələnmə reaktivlikləridir.

(2.9) və (2.10) ifadələrinin sol tərəflərini eyniləşdirsək ΔI_f və ΔI_{id} cərəyanları arasındakı növbəti əlaqəni alarıq

$$\Delta I_f x_{\sigma f} = \Delta I_{ld} x_{\sigma ld}; \qquad (2.11)$$

Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, dolaqların səpələnməsi nə qədər az olarsa, onda induksiyalanan cərəyan bir o qədər çox olar və rotorun cavab reaksiyasının yaradılmasında onun iştrakı bir o qədər çox olar. Keçid prosesinin ilkin anında iki dolağın birlikdə cavab reaksiyasını səpələnmə reaktivliyi $x_{\sigma rd}$ olan rotorun uzununa oxu üzrə bir ekvivalent dolaqdakı cərəyanın cəmindən $\Delta I_{rd} = \left(\Delta I_f + \Delta I_d\right)$ yaranan analoji reaksiya ilə əvəz etmək olar. Bununla aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\Delta I_{rd}\left(x_{\sigma rd} + x_{ad}\right) = \left(\Delta I_f + \Delta I_{ld}\right)\left(x_{\sigma rd} + x_{ad}\right) = -\Delta I_d x_{ad} \qquad (2.12)$$

(2.9) və (2.11) formulları nəzərə alınmaqla (2.12) formulundan dolağın səpələnmə reaktivliyi üçün ifadəni almaq olar

$$x_{\sigma rd} = \frac{x_{\sigma f} x_{\sigma ld}}{x_{\sigma f} + x_{\sigma ld}}.$$

Beləliklə, rejimin qəflətən pozulması zamanı uzununa oxda sinxron maşının xarakterizə olunduğu reaktiv müqaviməti almaq üçün x'_d (2.8) ifadəsində $x_{\sigma f}$ -in əvəzinə $x_{\sigma rd}$ kəmiyyətini daxil edək. Belə bir əvəzetmə edərək çevirmə aparsaq *uzununa ifrat keçid raktivliyini* alarıq:

---

*Rotor cərəyanın statora gətirilməsi barədə S.A. Ulyanovun [2] dərsliyində verilib

$$x_d^{//} = x_d - \frac{x_{ad}^2}{x_{\sigma rd} + x_{ad}} = x_\sigma + \frac{x_{\sigma rd} x_{ad}}{x_{\sigma rd} + x_{ad}} = x_\sigma + \frac{1}{(x_{ad})^{-1} + (x_{\sigma f})^{-1} + (x_{\sigma ld})^{-1}}$$

.

Rotorun eninə oxunda (burada ancaq dempfer dolağı vardır) *eninə ifrat keçirici reaktivlik* (reaktiv müqavimət) mövcud olur:

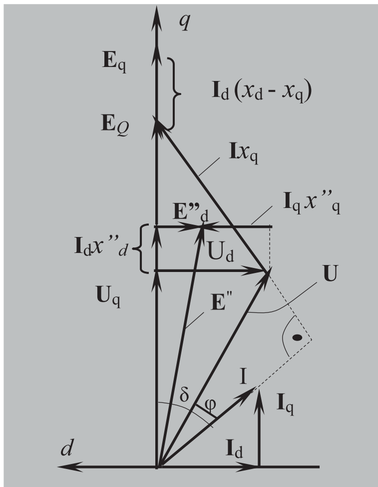
$$x_q^{//} = x_q - \frac{x_{aq}^2}{x_{\sigma lq}} = x_\sigma + \frac{x_{\sigma lq} x_{aq}}{x_{\sigma lq} + x_{aq}}.$$

Bu reaktivliklərə uyğun EHQ-lər eninə oxda E''_q və uzununa oxda E''_d ifrat keçirici EHQ adlanırlar. Onlar rejimin pozulmasının başlanğıc anında öz qiymətlərini dəyişməz (sabit) saxlayırlar və aşağıdakı ifadələrlə təyin olunurlar:

$$\mathbf{E}_{q0}^{//} = \mathbf{Y}_{q0} + j\mathbf{I}_{d0} x_d^{//},$$

$$\mathbf{E}_{d0}^{//} = \mathbf{U}_{d0} + j\mathbf{I}_{q0} x_q^{//},$$

burada $\mathbf{U}_{d0}$, $\mathbf{U}_{q0}$, $\mathbf{I}_{d0}$, $\mathbf{I}_{q0}$ bundan əvvəlki rejimin gərginlik və cərəyanının mürəkkəbələridirlər.

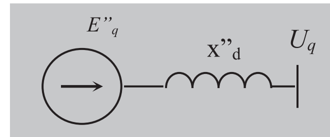


Şəkil 2.14. Dempfer dolaqlı aydın qütblü sinxron generatorun vektor diqramı

Bu səbəbdən, dempfer dolaqlı aydın qütblü maşın rejiminin qəflətən pozulmasının başlanğıc anında x''_d və x''_q reaktiv müqavimətləri və E''_d və E''_q EHQ-ləri ilə xarakterizə olunur. “İfrat” önlüyü bu parametrlərin dempfer konturlarının təsirinin nəzərə alındığını göstərir.

Şək. 2.14 -də E'' EHQ-si və onun E''_d və E''_q mürəkkəbələri göstərilmişdir. E''_d və E''_q EHQ- lərini ilişmə selləri və induktiv müqavimətlərlə əlaqələndirən ifadələr [15]-də verilib.

Qeyri–aydın qütblü sinxron maşın rejiminin gözlənilməz pozulmasının başlanğıc anında x''_d ifrat keçirici müqaviməti və müvafiq E''_q EHQ ilə xarakterizə olunur və *şək. 2.15*-də göstərilən əvəz sxemi ilə təqdim oluna bilər.



Səkil 2.15. Qeyri-aydın qütblü sinxron maşının əvəz sxemi.

QQ-nin hesablanan sunusoidal cərəyanı QQ-nin ifratkeçid cərəyanı adlanır və bu QQ-nin ifratkeçid, keçid və qərarlaşmış mürəkkəbələrin cəmindən ibarət olacaqdır. Dempfer dolağında cərəyannın T''_d zaman sabiti ilə sönməsindən sonra yalnız cərəyanın iki mürəkkəbəsi mövcud olur. Sonda, keçid mürəkkəbəsinin T'_d zaman sabiti ilə sönməsindən sonra yalnız QQ-nini qərarlaşmış mürəkkəbəsi mövcud olur.

2.2.6. Sinxron maşının keçid prosesi tənlikləri

Sinxron maşınlar EES-nini əsas enerji mənbəyi olmaqla onun rejimini müəyyən edən əsas elemt hesa olunur. Eyni zamanda, maşınların konstruktiv xüsusiyyətləri onu keçid proseslərinin analizi və riyazi təsviri nöteyi-nəzərindən sistemin daha mürəkkəb elementi kimi şərtləndirir. Bu baximdan, sinxron maşınlarda ona təsir edən bütün faktorları nəzərə almaqla elektromaqnit keçid prosesslərinin analitik tədqiqi kifayyət qədər mürrəkkəb məsələlər sinfinə daxil edilir. Bu baxımdan, sözügedən məsələni qismət sadələşədirmək lazım gəlir. Başqa sözlə, əslində sinxron maşına onun malik olmadığı müyyən xassə və keyfiyətlər şamil olunur ki, bu da maşını "ideallaşdırır". Şübhə yoxdur ki, sadələşdirmələr müəyyən kəmiyyətlərin qiymətləndirilməsində xətalar yaradır. Lakin, sınaqlarən nəticələri göstəriri ki, qeyd olunan xətalar praktiki buraxıla bilən hədlər çərçivəsində olur. Odur ki, sinxron maşının

keçid prosesləri aşağıda göstərilən bir sıra sadələşdirmələr nəzərə alınmaqla diferensial tənliklər sistemi ilə ifadə oluna bilər:

1. Maşının nüvəsininin maqnit keçriciliyi sonsuz qəbul olunur ki bu da maqnit sisteminin doymamasını və bu səbəbdən maşının induktivliyinin maqnitləşdirici qüvvə və ya cərəyandan asılı olaraq sabit qalmasına və eləcə də maşının hava aralığındsa yekun maqnit sahələrininin təyin olunması zamanı toplanma prinsipinin istifadə olunmasına imkan verir;
2. Hesab olunur ki, maşının hava aralığında özünəinduksiya və satator və rotor dalaqlarınını qaşılıalı induksiya sahələrininin paylanması siniusoida üzrə dəyişir. Bu halda, yalnız birinci harmonikanın maqnitləndirici qüvvə və induksiyası fəaliyyəti nəzərə alınır və nəticə etibarı ilə induksiyalanan stator EHQ-si əsas tezliyin sinusoidası olur;
3. Maşının maqnit sistemi itkiləri nəzərə alınmır;
4. Statorun konstruktiv quruluşuna görə faz dolaqları və rotor özünün uzununa və eninə oxları üzrə simmetrik olması qəbul olunur;
5. Sinxron maşının uzununa (d oxu - rotorun qütblərindən keçən) və eninə (q oxu – qüblərarası boşluqdan keçən) oxlarda olan dempfer (sakitləşdirici) dolaqları onların ekvivalentləri ilə əvəz olunr;
6. Keçid prosesi baxılan mddətdə maşının rototunun sinxron surətə bərabər və sabit fırlanma surəti hərəkət etdir.

Qeyd edək ki, həl olunana məsələnin təyinat və xarakterindən asılı olaraq yuxarıda qeyd olunana sadələşmələrin bir hissəsindən istifadə olua və ya digər əlavə sadələşmələr də qəbul olua bilər. Əksər hallarda hətta bu qəbul olunan sadələşmələr belə maşınlarda keçid prosesslərinin analizi zamanı müyyən çətinlikləri aradan qaldırmır. Bu səbəbdən növbəti mərhələlərdə digər sadələşmələrin də qəbul olunması qaçılmaz olur.

Dempfer dolağı nəzərə alınan halda ifadələr mürrəkkəb alındığına görə fiziki olaraq izahın sadələşdirilməsi məqsədilə, öncə dempfer dolağı olmayan sinxron maşına baxaq.

Fazlar və təsirlənmə dolaqları üzrə aktiv müqavimətlər nəzərə alınmaqla sinxron maşının dolaqları üzrə EHQ (fazlar üzrə maqnit ilişmə selinin zamana görə dəyişmə surətilə düz mütənasibdir) və

gərginlik düşgüsünun müvazinət (tarazlaşdırıcı) bərabərliyi (2.1) diferensial tənliklərə analoji olaraq Kirkofun ikinci (gərginlik) qanununa görə aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\left.\begin{array}{ll} U_A = -\dfrac{d\Psi_A}{dt} - ri_A, & U_B = -\dfrac{d\Psi_B}{dt} - ri_B \\ U_C = -\dfrac{d\Psi_C}{dt} - ri_C, & U_f = -\dfrac{d\Psi_f}{dt} + r_f i_f \end{array}\right\}, \qquad (2.13)$$

burada Ψ_A, Ψ_B, Ψ_C, Ψ_f – stator dolağı ilə təsirlənmə dolağının yekun ilişmə selləridir.

Ψ -nin törəməsi qarşısında olan " – " işarəsi Lens qaydasına müvafiq olaraq qoyulmuşdur. Dolağın ilişmə seli maqnit selinin sarğılar sayına hasili (Ψ =wF) və ya induktivlikdə maqnit selini yaradan cərəyana hasili kimi təyin oluna bilər (IL) (Əlavə 1-ə bax).

Müvafiq dolaqlar üzrə xüsusi induktivlik (L) və qarşılıqlı induktivlik (M) əmsallarını daxil edərək, qəbul olunmuş sadələşmələr nəzərə alınmaqla ilişmə sellərinin dolağın faz və təsirlənmə cərəyanından xətti asıllıq ifadələrini aşağıdakı şəkildə alarıq:

$$\left.\begin{array}{l} \Psi_A = L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C + M_{Af} i_f \\ \Psi_B = L_{BA} i_A + L_B i_B + M_{BC} i_C + M_{Bf} i_f \\ \Psi_C = M_{CA} i_A + M_{CB} i_B + L_C i_C + M_{Cf} i_f \\ \Psi_f = M_{fA} i_A + M_{fB} i_B + M_{fC} i_C + L_f i_f \end{array}\right\}. \qquad (2.14)$$

burada $M_{AB} = M_{BA}$, $M_{fB} = M_{Bf}$ və s. olduğuna görə əslində M qarşılıqlıqlı induktivliyinin müxtəlif qiymətlərinin sayı 2 dəfə azdır.

Əgər bütün L və M əmsalları sabit olardılarsa, onda yuxarıda göstərilən sistem tənlikləri yalnız xətti difrensial bərabərlikdən ibarət olardı və sabit əmsallı diffrensial bərabərliyin həlli asanlıqla tapıla bilərdi. Lakin, fırlanan maşında təsirlənmə dolağının induktivliyi istisna olmaqla digər əmsallar rotorun vəziyyətindən asılı olaraq

dəyişir, onlar zamanın funksiyalarıdırlar. Odur ki, (2.14) sistemi qəbul olunmuş sadələşmələr nəzərə alınmaqla dəyişən əmsallı, öz və maqnitəlaqəli digər dövrələrin cərəyanlarından asıllıqları ifadə edən xətti diferensial tənliklərdən təşkil olunur. Yəni, L_f induktivliyi istisna olmaqla (onu sabit hesab etmək olar) yerdə qalan *L* və *M* rotorun vəziyyətindən asılı olaraq dəyişirlər. Onlar stator dolağına nisbətən rotorun vəziyyətindən asılıdır (*şək. 2.3*-də $\omega t + \alpha_0$ bucağı). Belə sistem tənliklərinin həlli kifayət qədər mürəkkəb hesab olunur və analitik həlli yoxdur. Yalnız firlanan elektrik maşınlarına keçid proseslərinin mühəndis hesablamalarında ədədi inteqrallama metodlarından istifadə oluna bilər. Sözügedən yanaşma elekron hesablama maşınından istifadəni tələb edir və dəqiqlik və sadəlik kimi, üstünlüklərə malik olsa da proseslərin fiziki olaraq qiymətləndirilməsinə imkan vermir (bu çatımazlıq yalnız sabit əmsallı diferensial bərabərliklər üçün istisan olunur). Bu səbəbdən, praktikada *A*, *B, C* üç kordinat sistemindən sərt rotorla əlaqələndirilmiş *dq* koordinat sisteminə keçirlər, yəni, üçölçülü maşının ikioxlu təsvirindən istifadə olunur.

İkioxlu maşın sisteminə keçid ilkin diferensial bərabərliklərin sayının azaldılmasına və digər aşağıda qeyd olunan sadələşmələrə imkan verir.

d,q kordinat sisteminə keçid üçün statorun faz dolaqlarının maqnit oxlarının istiqamətini *A*, *B* və *C* ilə, rotor dolaqlarının *d* və *q* ilə, *A* fazının maqnit oxu ilə rotorun uzununa oxu arasındakı bucağı α ilə, rotorun bucaq sürətini ω ilə işarə edək. Maşının təsirlənmə dolağı *d* oxu üzrə üst-üstə düşdüyünə (*şək.2.16*) və statorunda yaranan yüksüz işləmə EHQ sinusoidal (2π periodu ilə) xarakterli olduğuna görə, *təsirlənmə dolağı ilə A, B və C fazları arasında qarşılıqlı induksiya əmsalı* aşağıdakı formul ilə ifadə olunur:

$$\left.\begin{aligned} M_{Af} &= M_{fA} = M_d \cos\gamma \\ M_{Bf} &= M_{fB} = M_d \cos\left(\gamma - \frac{2\pi}{3}\right) \\ M_{Cf} &= M_{fC} = M_d \cos\left(\gamma + \frac{2\pi}{3}\right) = M_d \cos\left(\gamma - \frac{4\pi}{3}\right) \end{aligned}\right\}.$$

burada M_d – stator dolağının maqnit oxunun *d* oxu ilə üst-üstə düşməsi zamanı qarşılıqlı induksiya əmsalının maksimal qiymətidir.

Aydın qütblü rotorun fırlanması stator dolağının xüsusi və qarşılıqlı induktivliyinin dəyişməsini şərtləndirir. Belə ki, bu induktivlikləri təyin edən maqnit selinin müqaviməti fasiləsiz olaraq dəyişir. Maqnit sellərinin dəyişməsi harmonik olaraq π periodu ilə, rotorun fırlanma istıqamətindən asılı olmayaraq, ikiqat tezliklə baş verir. Ona görə ki, rotorun π qədər dönməsi zamanı maqnit müqavimətinin dəyişməsinin bundan əvvəlki tsikli (dövrü) təkrar olunur. Praktiki hesablamalarda induktivliyin Furye sırasının ikinci mürəkkəbəsindən sonrakı bütün cüt harmonikaları nəzərdən ataraq, induktivliyin təqribi hesablanması ilə kifayətlənirlər. Bu baximdan, *A* fazı dolağının *xüsusi induktivliyi* aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$L_A = l_0 + l_2 \cos 2\gamma. \qquad (2.15)$$

burada, l_0 – xüsusi induktivliyin sabit mürəkkəbəsi;

l_2 – induktivliklərin ikinci harmonikasının amlitudur.

Qeyd edək ki, qeyri-aydın qütblü maşınlar üçün ikinci harmonikanını amplitudu sıfıra bərabər və təsirlənmə dolağının xüsusi induktivliyi isə sabitdir ($l_2 = 0$ *və* $L_A = L_B = L_C = l_0 = const$).

A və *B* fazları arasındakı *qarşılıqlı induktivlik* isə uzununa *d* oxu ilə baxılan fazların maqnit oxları arasından çəkilən xətt (bissektris) arasındakı bucağın cüt funksiyası olmaqla analoji olaraq növbəti formul ilə hesablanır:

$$M_{AB} = m_0 + m_2 \cos 2(\gamma - \frac{\pi}{3}). \qquad (2.16)$$

burada, m_0 – qarşılıqlı induktivliklərin sabit mürəkkəbəsi;

m_2 – qarşılıqlı induktivliklərin ikinci harmonikasının amlitudaları.

Qeyri-aydın qütblü maşınlar üçün qarşılıqlı induktivliklərin ikinci harmonikasının amplitudu sıfıra bərabərdir və sabit mürəkkəbəsi isə sabitdir ($m_2 = 0$ *və* $M_{AB} = M_{AC} = M_{BC} = m_0 = const$).

Qeyd edək ki, son iki ifadəni, arqument qismində bucağın müvafiq qiymətlərini nəzərə almaqla digər fazlar üzrə də ifadə etmək olar.

(2.15) və (2.16)-dakı sabit əmsalları və ikinci harmonikanın aplitudunu sinxron maşının induktivliyi vasitəsilə ifadə etmək olar [ifadələrin çıxarışı 10-da verilmişdir]. Nisbi vahidlərdə bu ifadə maşının pasport verilənləri əsasında aşağıdakı səkildə olur:

$$l_o = \frac{1}{3}\left(L_d + L_q + L_0\right),$$

$$l_2 = m_2 = \frac{1}{3}\left(L_d - L_q\right),$$

$$m_o = \frac{1}{3}\left(L_0 - \frac{L_d + L_q}{2}\right).$$

Beləliklə, (2.13) diferensial tənliklər sistem, yuxarıda xüsusi və qarşılıqlı induktivliklər üzrə təyin edilmiş qanunauyğunluqları nəzərə alınmaqla, zamana görə dəyişən əmsallara malikdirlər. Buna görə də, tənliklər sisteminin həlli müəyyən qədər çətinliklərlə qarşılaşır.

Çıxış yolu kimi, tənliklərin sadələşdirilməsi üçün qiymətləri (2.13) və (2.14)-də ifadə olunan *A*, *B*, *C* koordinat sisteminin, rotorla sərt əlaqəli olan *d*, *q*, yeni koordinat sistemi (üçfazlı sistemin ümumləşdirilmiş vektoru) ilə əvəz olunması üsulundan istifadə olunur. Bu kordinat sistemindən artıq yuxarıda, vektor diaqramının qurulmasında istifadə olunmuşdur və üç hərəkətsiz stator dolağının rotor dolağı ilə birlikdə firlanan iki dolaqla əvəz olunması ilə eynidir. *d, q* kordinat sistemində yerləşdirilən stator dolaqları rotora nisbətən hərəkətsiz olduğuna görə,onun istifadəsi (2.13) ifadəsindəki dəyişən parametrlərdən azad olmağa imkan yaradır.

Yəni, üçfazlı simmetrik ulduz şəkilli vektorların fazlar üzrə ani qiymətlərinin zaman oxuna proyeksiyaları kimi təsvirinin əvəzində gərginliyin, cərəyanın və ilişmə selinin faz kəmiyyətlərinin ani qiymətləri, ümumiləşdirilmiş vektorun statorun tərpənməyən müvafiq faz dolaqlarınnın maqnit oxlarına proyeksiyası kimi ifadə olunur (*şək. 2.16*). Bu halda ümumiləşdirilmiş vektorların *A*, *B*, *C* və *d*, *q* sisteminin kordinat oxlarına proyeksiyaları arasında əlaqə aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər:

$$
\left.\begin{aligned}
U_A &= U_{dA} + U_{qA} = U_d \cos\alpha + U_q \sin\alpha \\
U_B &= U_{dB} + U_{qB} = U_d \cos\left(\alpha - 120^0\right) + U_q \sin\left(\alpha - 120^0\right) \\
U_C &= U_{dC} + U_{qC} = U_d \cos\left(\alpha - 240^0\right) + U_q \sin\left(\alpha - 240^0\right)
\end{aligned}\right\}, \qquad (2.17)
$$

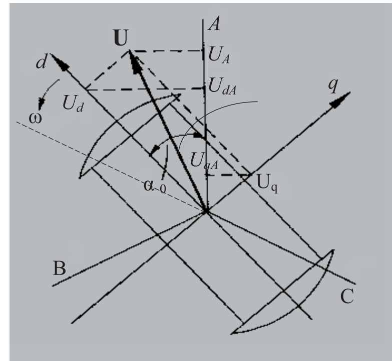
burada, $\alpha = \omega t + \alpha_0$.

Ümumi halda, bu çevirmələri istənilən parametr üçün üçfazlı sistemin tarazlaşmış halı üçün etmək mümkün olur. Yəni, bu vektorla

$$f_A + f_B + f_C = 0$$

şərtinə riayət etməklə ümumi halda ümumiləşdirilmiş vektorla, zamana görə sərbəst qanunla dəyişən istənilən fazın dəyişən kəmiyyətləri – f_A, f_B, f_C -ni xarakterizə etmək olar.

Əgər faz dəyişənlərinin cəmi sıfıra bərabər olmazsa, (yəni qeyri simmetrik rejimdə sıfır mürəkkəbəsi yaranarsa– neytralın torpaqlı halında) onda onu üçüncü dəyişən f_0 vasitəsi ilə aşağıdakı kimi, ifadə etmək məqsədəuyğundur:



Şəkil 2.16. A, B, C və d, q, 0 koordinat sistemlərinin əlaqəsi

$$f_A + f_B + f_C = 3f_0$$

yəni,

$$f_0 = \frac{1}{3}\left(f_A + f_B + f_C\right) \qquad (2.18)$$

f_0 mürəkkəbəsi müəyyən mənada simmetrik mürəkkəbələr metodunun sıfır mürəkkəbəsi ilə eynidir və sıfırıncı mürəkkəbə adlanır, eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, bu kəmiyyət baxılan fiziki kəmiyyətin (vektor deyil) ani faz qiyməti ilə təyin olunur və onun zamana görə dəyişməsi istənilən qanun üzrə baş verə bilər. Sıfır mürəkkəbəsi f_0 bütün fazlarda eyni olduğundan o nə ümumiləşdirilmiş vektora, nə də onun *d* və *q* proyeksiyasına təsir etmir.

Beləliklə, yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alaraq (2.13) diferensial tənliyində *A, B* və *C* fazları üzrə dəyişənləri onların *d*, *q* koordinatlarında mürəkkəbələri ilə əvəz etməklə tənlikdə çevirmə aparmaq olar.

(2.17)-yə müvafiq olaraq (2.18)-i nəzərə almaqla yeni dəyişənlər vasitəsilə *A* faznın cərəyan, gərginlik və ilişmə selini ifadə edək və ümumi halda faz dəyişənlərinə keçərkən hər bir bərabərliyiə sıfırıncı mürəkkəbənin əlavə olunması zəruriyyətini nəzərə alaq:

$$i_A = i_d \cos\alpha + i_q \sin\alpha + i_0,$$
$$U_A = U_d \cos\alpha + U_q \sin\alpha + U_0,$$
$$\psi_A = \psi_d \cos\alpha + \psi_q \sin\alpha + \psi_0.$$

Üçoxlu sistemdən ikioxlu sistemə keçid, üçfazlı maşının ekvivalent ikifazlı ilə əvəz olunmasına uyğundur. Bu ifadələri (2.13)-də yerinə yazaraq və Ψ_d, Ψ_q və α-nın zamanın funksiyası olduğunu nəzarə alaraq, diferensiallanma zamanı aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$U_d \cos\alpha + U_q \sin\alpha + U_o = -\frac{d}{dt}(\psi_d \cos\alpha + \psi_q \sin\alpha + \psi_0) -$$
$$- r(i_d \cos\alpha + i_q \sin\alpha + i_o) = -\frac{d\psi_d}{dt}\cos\alpha + \psi_d \sin\alpha \frac{d\alpha}{dt} -$$
$$-\frac{d\psi_q}{dt}\sin\alpha - \psi_q \cos\alpha \frac{d\alpha}{dt} - \frac{d\psi_0}{dt} - ri_d \cos\alpha - ri_q \sin\alpha - ri_0.$$

Toplananları qruplaşdırdıqdan sonra bu ifadəni aşağıdakı şəkildə vermək olar:

$$\left(U_d+\frac{d\psi_d}{dt}+\Psi_q\frac{d\alpha}{dt}+ri_d\right)\cos\alpha+\left(U_q+\frac{d\Psi_q}{dt}-\Psi_d\frac{d\alpha}{dt}+ri_q\right)\sin\alpha+$$
$$+\left(U_0+\frac{d\psi_0}{dt}+ri_o\right)=0. \qquad (2.19)$$

(2.19) bərabərliyi α-nın istənilən qiymətində təmin olunmalıdır. Bu ancaq o şərt daxilində mümkündür ki, mötərzəyə alınmış hər bir ifadə sıfıra bərabər olsun. Buna görə də bu bərabərlik üçə bölünür:

$$U_d=-\frac{d\psi_d}{dt}-\Psi_q\frac{d\alpha}{dt}-ri_d, \qquad (2.20)$$

$$U_q=-\frac{d\psi_q}{dt}+\Psi_d\frac{d\alpha}{dt}-ri_q, \qquad (2.21)$$

$$U_0=-\frac{d\psi_0}{dt}-ri_0. \qquad (2.22)$$

(2.20) ÷ (2.22) ifadələrinin sol tərəfi gərginliyin ümumləşdirilmiş vektorunun müvafiq oxlar üzrə mürəkkəbələrini ifadə edir. Digər iki fazlar üçün də ifadələri oxşar formada yazmaq olar. Təsirlənmə dolağı üçün bərabərlik (2.13)-də olduğu kimi qalacaqdır. (2.20), (2.21) formullarında Ψ_d və Ψ_q ilişmə selləri (2.4) və (2.4a) ifadələri üzrə, Ψ_0 isə aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$\Psi_0=L_0l_0=x_0l_0,$$

burada x_0 – maşının sıfır ardıcıllıqlı induktiv müqavimətidir.

Beləliklə, simmetrik rejimlərdə sinxron maşınını tədqiq olunması rotorla birlikdə fırlanan *d, q, 0* kordinatlar sistemində məqsədəuyğun hesab olunur. Bu yanaşmanın məğzi ondan ibarətdir ki, rotora sərt birləşmiş oxlarla eyni fırlanan müşahidəçi üçün,

maqnit mənasıda maşın rotorun vəziyyətindən asılı olmyaraq simmetrik vəziyyətə olur. Yəni rotor statorla birlikdə fırlanır və onlar biri-birlərinə nisbətən hərəkətsizdirlər. Bu səbəbdən, *d*, *q*, 0 koordinatlar sistemində, dəyişən induktivliklər daxil olan (2.13) ifadəsindən, sabit əmsallı deferensial tənliklər sistemi almağa imkan verir.

(2.13)-də təsirlənmə dolağının və maqnit ilişmə sellərinin müvafiq ifadələri daxil olmaqla (2.20) – (2.22) tənlikləri sinxron maşının iki ox reaksiyasının nəzəri əsaslarını təşkil edir və ilk dəfə olaraq aydın qütblü maşınların qərarlaşmış rejimləri üçün Blondel tərəfindən təklif olunmuş keçid prosessləri üçün amerika alimi P. X. Park və ondan asılı olmayaraq rus alimi A. A. Qorev tərəfindən inkişaf etdirildiyinə görə *Park – Qorev tənlikləri* adlanır. (2.20) ÷ (2.22) tənliklərinin sol tərəfi gərginliyin ümumləşdirilmiş vektorunun mürəkkəbələrini, sağ tərəfinin birinci toplananları müvafiq ilişmə sellərinin zamana görə dəyişməsi ilə təyin olunan *transformasiya* EHQ-ni ifadə edir. Qeyd edək ki, ilişmə sellərinin dəyişməsi stator cərəyanının keçid prosesində aperiodik mürəkkəbəsi ilə əlaqədardır. İkinci toplananlar – *fırlanma* EHQ adlanır və rotorun fırlanma sürəti ($d\alpha/dt,\ \alpha = \omega t + \alpha_0$) ilə təyin olunurlar. Normal rejimdə sinxron fırlanma surəti ilə işləyən maşında fırlanma EHQ mövcud olmur.

Park – Qurev tənlikləri EHQ, gərginlik, cərəyan, maqnitilişmə seli və baxilan sistemin parametrləri arasında əlaqəni ifadə edir.

Bir sıra hallarda keçid proseslərinin hesabatının sadələşdirilməsi məqsədəuyğun hesab olunur. Bunun üçün Park – Qorev tənliklərinin sadələşdirilmiş formasından istifadə olunur. Aperiodik cərəyanları və aktiv müqavimətləri nəzərə almayaraq, həmçinin rotorda yırğalanma olmadığını ($s = 0$) fərz etsək, (2.20) ÷ (2.22) ifadələrindən istifadə etməklə tənliklərin sadələşdirilmiş formasını yaza bilərik:

$$U_d = -\Psi_q, \quad U_q = \Psi_d$$

bu tənliklər *Lebedev – Jdanov tənlikləri* adlanır.

Strukturlarına görə bu tənliklər simmetrik qərarlaşmış rejimlər üçün olan tənliklərdən heç nə ilə fərqlənmirlər. Lakin, keçid proseslərində bu tənliklərə daxil olan gərginlik və ilişmə selləri dəyişən kəmiyyətlərdir.

2.2.7. Sinxron maşının təsirlənmə sistemi və təsirlənmə cərəyanının avtomatik tənzimlənməsi

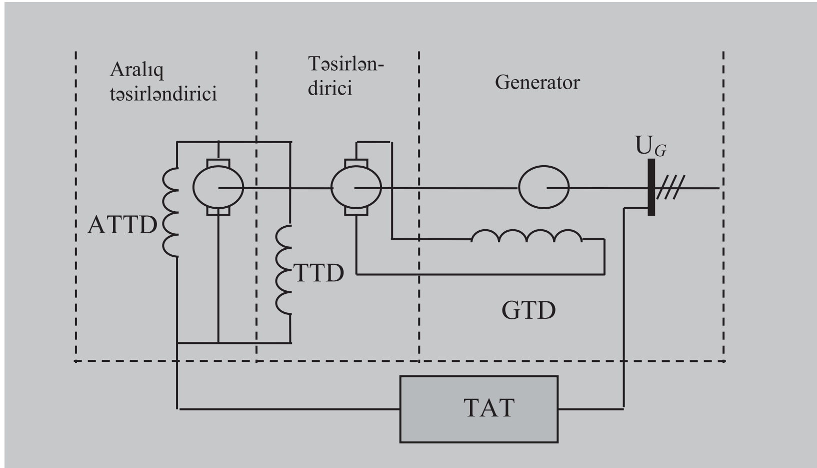
Elektrik enerjisi istehsalı və paylanması prosesinin, xüsusilə qısaqapanma rejimlərinin özünəməxsus xüsusiyyətləri gərginliyin və reaktiv güc axınlarının avtomatik tənzimlənməsinin texniki zəruriliyini və iqtisqadi məqsədəuyğunluğunu şərtləndidrir. Bu baxımdan, hazırda istehsal olunan bütün turbo-, hidro-, dizel generatorlar, sinxron kompensatorlar, mühərriklər müasir təsirlənmə sistemləri ilə təchiz olunurlar.

Təsirlənmə sistemi – təsirlənmə cərəyanının yaradılması və tənzimlənmə qurğusunun köməyi ilə onun idarə olunması üçün zəruri olan maşın və aparatlardır. Bəzən təsirlənmə sistemini və cərəyanının avtomatik tənzimlənməsini vahid bir qurğuda birləşdirirlər və onu təsirlənmə sistemi (TS) adlandırırlar. Təsirlənmə sistemi keçid prosesinin xarakterinə olduqca böyük təsirə malikdir.

Maşın təsirlənmə sisteminin tətbiqinə ötən əsrin ortalarından başlanılmasına baxmayaraq, hazırda vahid gücü kiçik olan sinxron maşınlarda istifadə olunur. Bu növ TS adətən təsirləndiricisi, alttəsirləndirici və tənzimləyici qurğudan ibarət olur. Kənar mənbədən (adətən bu özütəsirlənən sabit cərəyanlı maşın olur) qidalandırılan asılı olmayan təsirlənmə ilə təmin olunmuş elektromaşın təsirləndiricisinin sadələşdirilmiş sxemi *şək. 2.17*-da göstərilib.

Sinxron maşınların təsirlənməsinin əsas üsulu elektromaqnit təsirlənməhesab olunur. Təsirlənmə cərəyanının tənzimlənmə prinsipinə görə iki sxemindən istifadə olnur. Birinci halda i_f cərəyanın tənizlənməsi təsirləndicinin təsirlənmə dolağına qoşulmuş tənzimləyici müqvimətin qiymətini dəyişməklə, ikinci sxem üzrə isə i_{ff} təsirləndiricinin təsirlənmə cərəyanına stator və ya gərginliyinin dəyişməsinə proporsional (mütənasib) olan əlavə cərəyanının daxil

edilməsi ilə həyata keçirilir. Kalssik təsirlənmə kimi, elektromaşın təsirləndiricilərdən (*şək.2.18,a*) istifadə olunur. Lakin, bu tip təsirləndiricilərə məxsus çatışmazlıqları (etibalığı və cərəyana görə fırça-kollektor aparatının cərəyan



Şəkil 2.17. Təsirlənmə sisteminin sadələşdirilmiş sxemi:
GTD – generatorların təsirlənmə dolağı; TTD – təsirləndiricinin təsirlənmə dolağı; ATTD – aralıq təsirləndiricinin təsirlənmə dolağı, TAT – təsirlənmənin avtomatik tənzimləyicisi

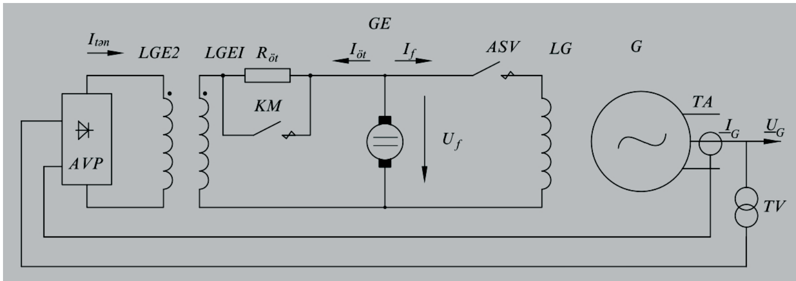
buraxma qabiliyyətinın aşağı və inersiya sabitinin yüksək (0,3-0,6 s) olması və sinxron maşınların vahid gücünün artırılması ardıcıl özütəsirlənən yüksək tezlikli dəyişən cərəyan *GE* induktor generatorundan (500 Hs, cərəyan üzrə müsbət əks-əlaqəli) və idarə olunmayan *VS* yarımkeçirici düzləndiricisindən (diodundan) ibarət təsirləndiricilərin tətbiqini zəruri etmişdir (*şək. 2.18,b*).

Elektromaşın tipli təsirləndiricilər adətən gücü 300 MVt-a qədər turbogenerator və 180 MVA-ya qədər hidroaqreqatlarda istifadə olnur.

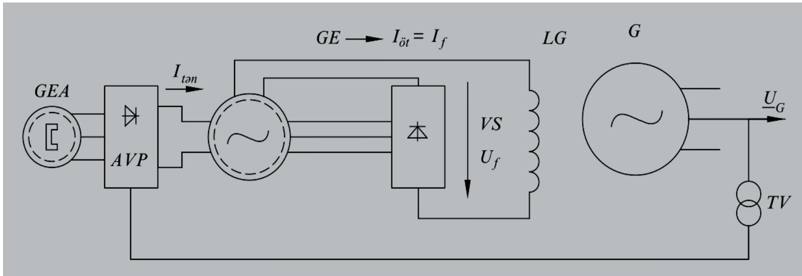
Hazırda, tiristorlu və fırçasız TS-dən istifadə olunur [2, 17] və elektrokmaşın təsirləndiriciləri demək olar ki, istehsaldan çıxarılıb.

Belə təsirləndiricinin müasir modifikasiyası çevrilmiş (rotorda dəyişən cərəyan dolağı yerləşdirilən) çoxqütblü *GE* generatorundan və *G* sinxron maşının *LG* təsirlənmə dolağı ilə sərt birləşdirilmiş

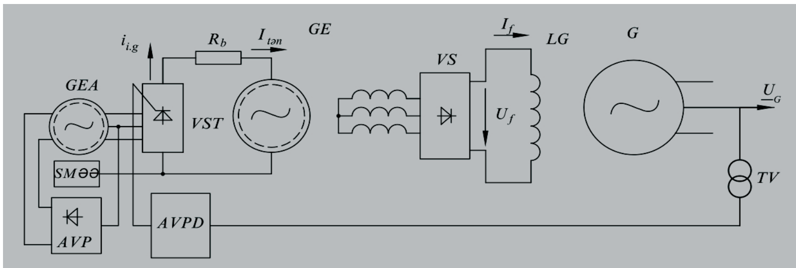
fırlanan *VS* diod düzləndiricisindən (*G* sinxron generatorun valında yerləşdirilir) ibarət fırçasız təsirlənmədən ibatərdir (*şək. 2.18, c*). Çevrilmiş *GE* generatorunu *VST* tristor çevricisinin köməkliyilə *AVPD* cəldtəsirli avtomatik təzlimləyicisi idarə edir və *GE* generatorunun təsirlənmə dövrəsinin qidalanması sabit maqnitlə təsirləndirilən köməkçi çoxqütblü *GEA* generatorundan (*şək. 2.18,b*) və ya özütəsirləndirilən *GEA* induktor generatorundan (*şək. 2.18,c*) istifadə etməklə həyata keçirilir.



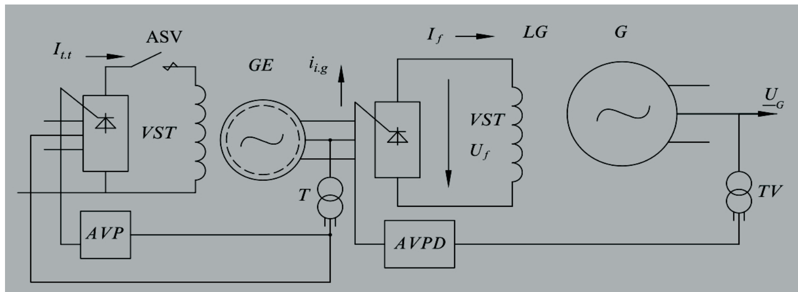
a) sabit cərəyanlı elektromaşın təsirlənmə.



b) dəyişən cərəyanlı induktor generatorlu diod elektromaşın təsirlənmə.



c) fırçasız cəld təsirli tristorlu (çevrilmiş generatorlu) təsirlənmə.



d) cəld təsirli tristorlu asılı olmayan təsirlənmə.

Şəkil. 2.18. Sinxron generatorların təsirlənmə sxemləri.

Rotor həlqəli müasir güclü SG-da təsirləndirici kimi, köməkçi *GE* sinxron generatoru və idarəolunan *VST* tristorlu çevirici (tristorlu asılı olmayan təsirlənmə) çıxış edir (*şək. 2.18,d*). Müəyyən dərəcədə tristorlu özütəsirləndirilmə tətbiq olunur – bu halda *VST* tristorlu çevirici *T* transformatoru vasitəsilə təsirləndirilən sinxron generatora, *LG* təsirlənmə dolağı isə *VST* tristor çevricisinə *ASV* açarı (generatorun sahə söndürücü avtomatı) vasitəsilə (*şək.2.18.a*) qoşulur.

VST tiristorlu çevirici *GE* çevrilmiış sinxron generatorun təsirlənmə dolağı dövrəsində fırçasız təsirlənmə zamanı da istifadə olunur. Bu qurğu invertor rejimində təsirlənməni söndürür (sinxron generatorun sahəsinin söndürülməsi). Perspektivdə fırlanan idarəolunan çeviricili fırçasız tiristor təsirləndiricisinin yaradılması nəzərdə tutulur.

Təsirlənmə sisteminin prinsipial sxemləri bir-birindən aşağıdakılarla fərqlənir:

1) təsirləndiricinin konstruktiv cəhətdən icra olunmasına görə;

2) təsirləndiricinin növünə görə – özütəsirlənən və ya müstəqil təsirlənən.

Təsirləndiriciləri elektromaşın (fırlanan elektrik maşını olan), statik (fırlanan elektrik maşını olmayan) və kombinasiya olunmuş təsirləndiricilərə bölmək olar.

Təsirləndiricinin özütəsirlənməsi halında onun təsirlənmə dolağı təsirləndiricinin kollektor fırçalarından qidalanır. Müstəqil təsirlənmə ilə olan elektromaşın təsirləndiricisi halında isə təsirləndiricinin dolağı kənar mənbədən qidalandırılır. Belə qidalanma mənbəyi üçün adətən özütəsirlənən sabit cərəyan maşını olan aralıq təsirləndiricidən istifadə olunur.

Təsirlənmənin avtomatik tənzimləyicisi (TAT) tənzimlənməni fasilələrlə yerinə yetirən *qeyri-həssaslıq zonalı* və tənzimlənməni fasiləsiz yerinə yetirən *qeyri-həssaslıq zonasız* tənzimləyicilərə bölünür.

Tənzimləyici təsirlərə görə növbəti tənzimləyicilər mövcuddur:

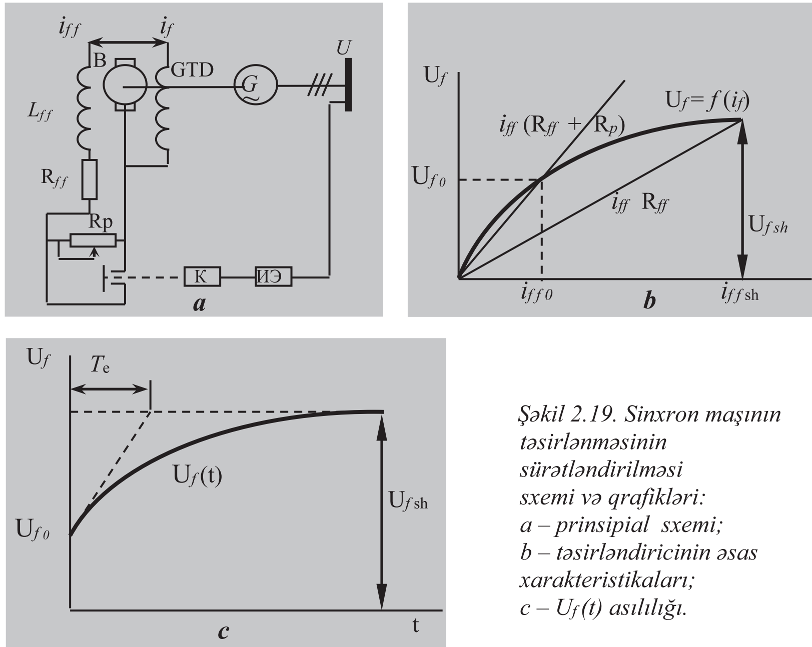
1) *Mütənasib (proporsional tipli) təsirli*: bu tənzimləmə cərəyanını rejimin hər hansı bir parametrinin (məs., gərginliyin) dəyişməsinə mütənasib olaraq dəyişdirir;
2) *cəld təsirli (prorpsional – diferensial və proporsional-inteqral-differensial tipli)*: bu yalnız meyletmələrin qiymətinə deyil, həmçinin onların sürət və təcilinə, eleəcə də rejim parametrlərinin meyletmələrinin inteqrqal fuksiyalarına (orta düzləndirilmiş və ya həqiqi qiymətinə görə idarəedici siqnal formalaşdırılır) reaksiya verir.

Proporsional təsirli TAT sinxron generatorların iki növ kompaunlaşdırılmasına əsaslanır:

– cərəyanla kompaunlaşdırılma, təsirlənmə cərəyanının onun yük cərəyanından asılılığını təmin edən;
– faza üzrə kompaunlaşdırılma, təsirlənmə cərəyanının yük cərəyanının qiymətindən və onun generatorun gərginliyinə nisbətən faza sürüşməsindən asılılığını təmin edən [17].

Qəza zamanı sinxron maşınların işinin etibarlılığının təmin edilmə üsullarından biri və effektivlisi təsirlənmə cərəyanının tez bir zamanda artırılması – *təsirlənmənin sürətləndirilməsidir* (forsirovkasıdır). Təsirlənmənin sürətləndirilməsinin fiziki mahiyyətini aydınlaşdırmaq üçün özünətəsirlənən elektromaşın təsirləndiricinin sxeminə baxaq (*şək. 2.19*).

Gərginliyin müəyyən olunmuş səviyyədən (80 ... 90%) U_{nom}-a azaldılması zamanı ölçmə elementinin (ÖE) çıxışından gələn siqnal (*şək. 2.19, a*) kontaktorun dövrəsini qapayır, kontaktor isə təsirləndiricinin təsirlənmə dövrəsinin reostatını qısa qapayır.



Şəkil 2.19. Sinxron maşının təsirlənməsinin sürətləndirilməsi sxemi və qrafikləri:
a – prinsipial sxemi;
b – təsirləndiricinin əsas xarakteristikaları;
c – $U_f(t)$ *asılılığı.*

Təsirləndiricinin lövbərinin müqaviməti kiçik olduğuna görə, təsirləndiricinin yüksüz işləmə cərəyanını onun yük xarakteristikası hesab etmək olar (*şək. 2.19, b*). Təsirləndiricinin rejim parametrləri (U_{f0} , i_{ff0}) yüksüz işləmə xarakteristikası və $U_f = i_{ff}(R_{ff} + R_r)$ düsturu ilə ifadə olunan düz xəttin kəsişmə nöqtəsi ilə təyin olunur, burada R_{ff} və R_r – müvafiq olaraq təsirləndiricinin təsirlənmə dolağının və reostatın aktiv müqavimətləridir. Reostatın uclarının qısaqapanması zamanı təsirləndiricinin yeni rejim parametrləri $U_f = i_{ff} R_{ff}$ düz xəttinin yüksüz işləmə xarakteristikasının kəsişmə nöqtəsi ilə təyin olunur (*c* nöqtəsi). Bu nöqtə təsirləndiricinin gərginliyinin son həddini təyin edir. Başqa sözlə, bu son hədd – maksimal təsirlənmə

adlanır. Təsirlənmənin sürətləndirilməsi zamanı təsirləndiricinin gərginliyinin zamandan asılı olaraq dəyişməsi (*şək. 2.19, c*)

$$U_f = U_{f0} + (U_{fsh} - U_{f0})(1 - e^{-\frac{t}{Te}})$$

tənliyi ilə ifadə olunan eksponensial asılılıqdır.

Burada: T_e – *təsirləndiricinin təsirlənmə dolağının zaman sabiti;*

U_{f0} ,U_{fsh} – təsirləndiricinin dövrənin gərginliyinin başalnğıc və son hədd qiymətidir.

Gərginliyin bu ifadəyə uyğun olaraq yüksəldilməsi dövrənin ətalətliyini nəzərə alaraq təsirlənmə cərəyanının artması ilə müşahidə olunur.

Təsirlənmənin sürətləndirilməsi zamanı təsirlənmə sisteminə qoyulan mühüm (vacib) tələblər aşağıdakılardır:

1. *Cəldtəsirliyin vacibliyi*, yəni rotorun dolağında gərginliyin nominaldan son hədd qiymətinə qədər yüksəldilməsi prosesində o, yüksək sürətlə artırılmalıdır. Bu tələb təsirləndiricinin ətalətliyi (inersiyalığı) ilə əlaqədardır. Gərginliyin artırılma sürəti – təsirlənmə dolağının zaman sabitinin (T_e) və təsirlənmənin son həddinin qiymətləri ilə təyin olunur;
2. *Təsirlənmənin sürətləndirilməsinin dəfəliyi*, rotorda gərginliyin son hədd qiymətinin nominala olan nisbəti ilə təyin olunur. Elektrikmaşın sistemləri üçün o rotorun son hədd cərəyanının dəfəliyinə uyğundur. Cəldtəsirlik və sürətləndirmənin dəfəliyinə görə daha müasir və effektiv üsul, idarəedilən tiristorlu düzləndiricidən istifadə etməklə hazırlanan *tiristorlu təsirlənmə sistemidir* [18]. Belə sistemlər praktiki olaraq ətalətli deyil ($T_e \approx 0{,}02$ san) və sürətləndirmə zamanı təsirlənmə gərginliyinin sıçrayışla artmasını təmin edir. Tiristorlu sistemdə təsirlənmə həddinin dörd dəfə (və daha çox) artmasını asanlıqla əldə etmək olur ki, bu da rotorun cərəyanının ikiqat qiymətə qədər artırılmasını sürətləndirməyə imkan verir. Bundan sonra sürətləndirmənin göstərilən qiymətini məhdudlaşdıran

qurğu təsir etməyə başlayır. Təsirlənmənin tiristor sistemini idarə etmək üçün *rəqəmli və analoq-rəqəmli sistemlər* mövcuddur. Belə sistemlər nəinki tənzimləyicinin cəldtəsirliyini artırmağa imkan verir, həmçinin normal, qəza və qəzadan sonrakı rejimlərdə aqreqatorların kompleks avtomatik idarə olunmasını həyata keçirir. Rəqəmli sistemin bazasında cəldtəsirli tənzimləyicilər hazırlanır ki, onlar praktiki olaraq generatorun sıxaclarında gərginliyin sabit saxlanılmasını təmin edir;

3. *Tənzimləyicinin zaman sabiti,* T_p;
4. *Tənzimlənmə qanunu və TAT qurğusunun gücləndirmə əmsalları.*

2.2.8. Maqnit sahəsinin söndürülməsi

Elektrik maşının daxili zədələnmədən qorunması üçün maşının cərəyanının azaldılmasının yeganə vasitəsi onun təsirlənməsinin çıxarılması, yəni, onun maqnit sahəsinin söndürülməsidir. Bu məsələnin mürəkkəbliyi sinxron maşının təsirlənmə dolağında böyük miqdarda elektromaqnit enerji ehtiyatının olması ilə əlaqədardır. Təsirlənmə dövrəsini qırmaq təhlükəlidir, çünki bu zaman yaranan ifrat gərginlik dolağın izolyasiysının deşilməsinə səbəb ola bilər. Ona görə də sahənin söndürülməsi təsirlənmə dolağının boşaldıcı adlanan aktiv müqavimətə (əks istiqamətlənmiş EHQ-yə) çevirilməsi ilə (avtomatik çevirmə qurğusu) həyata keçirilir. Bu əməliyyatı yerinə yetirən aparat sahənin söndürmə avtomatı (SSA) adlanır.

SSA-nın növbəti tələblərə cavab verməlidir:

1. Sahənin söndürülmə zamanı ($T_{sön}$) minumum olmalıdır;
2. Sahənin söndürülmə zamanı təsirlənmə dolağının çıxış gərginliyi bu dolağın buraxılabilən gərginlik səviyyəsindən çox olmamalıdır.

Sahənin söndürmə zamanı dedikdə, sahənin sönnməsinin başlanğıc anından statorun EHQ-nin dəyişən cərəyan qövsünün təbii sönmə qiymətinə qədər tələb olunan zaman başa düşülür. Bu kəmiyyət təqribən 500/√2 =350 V səviyyəsindədir. Rotorun qalıq

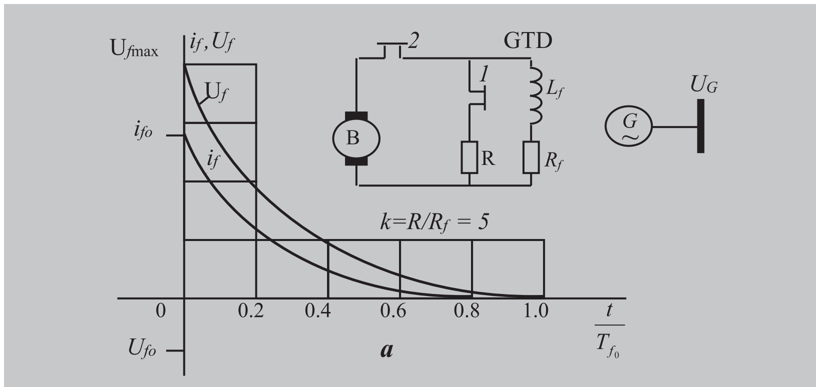
maqnit sahəsinin EHQ-ni orta hesabla 200 V olduğunu nəzərə alsaq, onda EHQ-nin 150 (350-200=150) V qiymətində sahənin sönmə prosesinin yekunlaşması kimi, qəbul etmək olar.

Müasir dövrdə sahənin söndürülməsinin müxtəlif üsulları mövcuddur. Bunlardan daha geniş yayılan üsullarda təsirlənmə dolağının sabit aktiv müqavimətdə boşalması üsuludur.

Sahənin söndürrmə avtomatının prinsipial sxemi *şək. 2.20 b*-də verilib. Normal rejimdə *2* kontaktı qapalı, *1* kontaktı isə açıq olur. Təsirlənmə dolağının sahəsini söndürmək üçün əvvəlcə *1* kontaktı qapanır, sonra isə *2* kontaktı aralanır. Dempfer dolağı nəzərə alınmamaqla stator dövrəsinin açıq vəziyyətində, təsirlənmə dolağında cərəyan aşağıdakı ifadəyə uyğun olaraq sönəcəkdir:

$$I_f = i_{f0} e^{-t/T_{sön}}, \qquad (2.23)$$

burada $T_{sön} = L_f / (R_f + R) = T_{fo}(1 + R/R_f)^{-1}$ - təsirlənmə cərəyanının sönmə dövrəsinin zaman sabiti.



Şəkil 2.20. Sinxron maşının sahəsinin söndürülməsi: a – Təsirlənmə dolağının gərginlik və cərəyan əyriləri; b – SSA –nin prinsipial sxemi

Cəryanın sönməsi nəticəsində yaranan transformator EHQ kifayyət qədər kiçik olduğuna görə praktiki cəhətdən nəzərə almamaq olar.

Təsirlənmə dolağındakı U_f gərginliyi i_f cərəyanına mütənasibdir. *1* və *2* kontaktlarının hərəkətlərinin eyni zamanda olmasını qəbul etmək olar. O zaman təsirlənmə dolağında gərginlik maksimal qiymətinə $t = 0$ anında çatacaq

$$U_{f\max} = U_{f0}\frac{R}{R_f}.$$

Sahənin söndürülməsini sürətləndirmək üçün boşaldıcı müqavimət olan R-in qiymətini artırmaq lazımdır. Lakin, gərginliyin artmasının yol verilən şərtinə görə R-in qiymətini (3 – 5)R_f həddində seçirlər.

Doymamış maşın üçün:

$$\frac{F_{d0}}{F_{dsön}} = \frac{E_{q0}}{E_{qsön}} = \frac{\dot{I}_{0f}}{\dot{I}_{fsön}} = N \quad , \qquad (2.24)$$

Burada $\dot{I}_{fsön}$ - dəyişən cərəyan qövsünün sönməsini şərtləndirən $E_{qsön}$ = 150 V EHQ-nin yaratdığı təsirlənmə cərəyanı.

(8.23) və (8.24) ifadələrindən sönmənin zamanı üçün növbəti ifadəni alırıq:

$$T_{sön} = T_{f0}\frac{1}{1+k}\ln N \quad , \qquad (2.25)$$

Belə ki, 15 kV çıxış gərginliyi ilə işləyən generator üçün, azalma dəfəliyi N=15/0,15=100 və sönmənin zamanı k=5 olduqda $T_{sön}$ =0,77 T_{f0} olacaqdır. Bu şətrlər üçün *şək. 2.20-də* i_f cərəyan və U_f gərginliyinin t/T_{f0} fuksiyasından asıllıqları göstərilmişdir.

Qeyd edək ki, yuxarıda qeyd olunan üsulun vacib çatışmazlıqlarından bir təsirlənmə dövrəsində cərəyanının sönmə surətinin cəld baş verməsi ilə əaqəli sönmə prosesinin uzanmasıdır.

Əgər boşalma müqaviməti əvəzinə müqaviməti ondan axan cərəyana tərs mütənasib olan qeyri-xətti müqaviməti qoşsaq, proses

xətti qanun üzrə gedəcək və sahənin söndürülməsi sürətlənəcək. Bu halda sönmə zamanı növbəti ifadə ilə təyin olunacaqdır:

$$T_{sön} = \dot{I}_{f0} \frac{L_f}{U_{bur}} = T_{f0} \frac{1}{k} \quad ,$$

Başqa sözlə, təsirlənmə dalağının cərəyanı xətti qanununla dəyişir və sönmə müddəti *((k/(1+k)) lnN)* dəfə sabit müqavimət halına nisbətən azalır.

Sinxron maşınların ion və tristor təsirlənmə qurğuları ilə iş rejimlərində sahənin söndürülməsini düzləndirici quğunun invertor rejiminə keçirməklə həyata keçirilir. Bu halda sahənin söndürülməsi şərti optimala yaxın olur.

Müasir SSA belə müqavimət rolunu avtomatın qövssöndürücü (deionlaşdırma) barmaqlığında yaranan elektrik qövsü yerinə yetirir. Qövssöndürücü barmaqlığın qoşulma sxemləri [2, səh. 182]-də verilib.

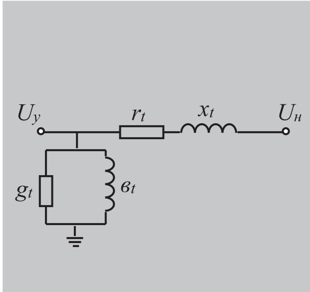
2.3. TRANSFORMATORLAR VƏ AVTOTRANSFORMATORLAR

Elektrik şəbəkə sisteminin (rejim və parametrlərin seçilməsi) hesablamalarında əvəz sxemlərində ikidolaqlı transformatorlar "T" və ya "Г" – şəkilli sxemlə (*şək. 2.21*), üçdolaqlı transformatorlar və ya avtotransformatorlar isə üç şüalı ulduz (*şək. 2.22*) şəkilli sxemlə təqdim olunurlar. Maqnitləndirmə budağı (eninə dövrə) adətən yüksək gərginlikli tərəfə aid edilir.

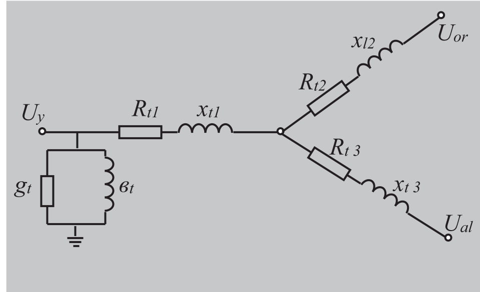
Transformatorun əvəz sxeminin parametrlərini (aktiv və raktiv müqvimət və keçiriciliklləri) təyin etmək üçün aşağıda verilən ilkin məlumatlardan istifadə olunur:

1) nominal güc S_{nom};
2) işçi budaqlanmalar göstərilməklə nominal gərginliklər (məsələn, $U_{nom} \pm$ 2,5%);
3) qısaqapanma itkisi ΔP_{qq};
4) yüksüz işləmə itkisi ΔP_{yi};
5) maqnitləndirmə cərəyanı $\dot{I}_{yi}$;

6) reaktiv müqavimət və ya qısaqapanma gərginliyi;
7) yerlə birləşdirilmiş sıfır nöqtəsi göstərilməklə transformatorun dolaqlarının birləşmə sxemləri.



Şəkil 2.21. İki dolaqlı transformatorun əvəz sxemi



Şəkil 2.22. Üç dolaqlı transformatorun əvəz sxemi

İkidolaqlı transformatorun əvəz sxeminin əsas parametrləri (bunlar məlumat ədəbiyyatlarında verilmir) aşağıdakı kimi təyin olunur:

– reaktiv müqaviməti (Om)

$$x_t = \frac{U_{qq}\%}{100}\frac{U_{nom}^2}{S_{nom}},$$

– aktiv müqaviməti (Om)

$$r_t = \frac{\Delta P_{qq}}{S_{nom}}\frac{U_{nom}^2}{S_{nom}},$$

– aktiv keçiriciliyi (S)

$$g_t = \frac{\Delta P_{yi}}{U_{nom}^2},$$

– reaktiv keçiriciliyi (S)

$$b_t = \frac{I_{yi}}{100} \frac{S_{nom}}{U_{nom}^2}.$$

Burada, U_{nom} – fazlararası nominal gərginlik, kV;

S_{nom} – üçfazlı yaxud birfazlı transformatorlar qrupundan ibarət üçfazalı transformatorun nominal gücü, MVA;

U_{qq} – QQ gərginliyi, %;

$\Delta P_{\text{q.q.}}$– QQ itkisi (transformatorun üç fazının mis itkisi), MVt;

$I_{\text{y}i}$ – transformatorun yüksüz işləmə cərəyanıdır, %.

Üçdolaqlı transformatorların və avtotransformatorların induktiv müqavimətləri aşağıdakı formullarla təyin olunur

$$x_{t1} = x_y = \frac{U_{qq(y-or)} + U_{qq(y-a\ell)} U_{qq(or-a\ell)}}{2} \frac{U_{nom}^2}{100 S_{nom}},$$

$$x_{t2} = x_{or} = \frac{U_{qq(y-or)} + U_{qq(or-a\ell)} U_{qq(y-a\ell)}}{2} \frac{U_{nom}^2}{100 S_{nom}},$$

$$x_{t3} = x_{a\ell} = \frac{U_{qq(y-a\ell)} + U_{qq(or-a\ell)} - U_{qq(y-or)}}{2} \frac{U_{nom}^2}{100 S_{nom}}.$$

Əgər qısaqapanma gərginliklərinin $\left(U_{qq(y-or)}, U_{qq(or-a\ell)}, U_{qq(y-a\ell)}\right)$ qiymətləri transformatorun tipik gücünə – S_{tip} -ə aid edilibsə, onda

$$U_{qq(y-a\ell)T} = U_{qq(y-a\ell)} \frac{S_{nom}}{S_{tip}}, \quad U_{qq(or-a\ell)T} = U_{qq(or-a\ell)} \frac{S_{nom}}{S_{tip}}$$

kimi olar.

Aktiv müqavimət ΔP_{qq}-nin hansı şəkildə verilməsindən asılıdır. Əgər cüt dolaqlar arasında QQ itkisinin bütün qiymətləri verilmiş olarsa, onda onlar əvvəlcə nominal gücə gətirilir. Ona görə ki, istehsalçı – zavod adətən bu qiymətlərin tarnsformatorun aşağı

güclü dolağına və ya avtotransformatorun tipik gücünə aid olması barədə məlumat verir və aşağıdakı formul ilə hesablanır:

$$\Delta P_{qq} = \Delta P_{qq}^{/} \frac{S_{nom}}{S_{tip}}.$$

Bundan sonra aktiv müqavimətlər təyin olunur:

$$r_{t1} = r_{y} = \frac{\Delta P_{qq(y-a\ell)} + \Delta P_{qq(y-or)} - \Delta P_{qq(or-a\ell)}}{2S_{a\ell}} \frac{U_{nom}^{2}}{S_{nom}},$$

$$r_{t2} = r_{or} = \frac{\Delta P_{qq(y-or)} + \Delta P_{qq(or-al)} - \Delta P_{qq(y-a\ell)}}{2S_{a\ell}} \frac{U_{nom}^{2}}{S_{nom}},$$

$$r_{t3} = r_{a\ell} = \frac{U_{qq(y-a\ell)} + U_{qq(or-a\ell)} - U_{qq(y-or)}}{2S_{a\ell}} \frac{U_{nom}^{2}}{S_{nom}}.$$

Əgər kataloq məlumatlarında QQ itkisinin ancaq maksimal qiyməti göstərilmişdirsə, onda üçdolaqlı transformatorun aktiv müqavimətləri aşağıdakı kimi təyin olunur:

– dolaqların gücləri bərabər olduqda

$$r_{t(100\%)} = \frac{\Delta P_{qq}}{2S_{nom}} \frac{U_{nom}^{2}}{S_{nom}};$$

– bir dolağın gücü, digər iki dolağın gücünün 66,7% -ni təşkil etdiyi halda

$$r_{t(66.7\%)} = 1.5 r_{t(100\%)}.$$

– iki dolağın gücü, digər üçüncü dolağın gücünün 66,7% -ni təşkil etdiyi halda

$$r_{t(100\%)} = \frac{\Delta P_{qq} U^2_{nom}}{1.83 S_{nom}}; \quad r_{t(66.7\%)} = 1.5 r_{t(100\%)}.$$

Avtotransformatorun neytralına gərginlikəlavəedici transformator qoşulmuş halı üçün, əvəz sxemi və onun parametrlərinin hesabatı yuxarıda verilənlərdən fərqlənir [4, səh. 25]. Elektrik təchizatı sistemində bəzən yuxarıda göstərilənlərdən konstruktiv xüsusiyyətləri ilə fərqlənən transformatorlardan istifadə olunur, məsələn:

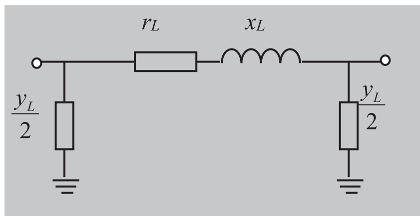
– alçaq gərginlikli dolağı hissələrə bölünmüş (dolağı parçalanmış) ikidolaqlı tarnsformator;
– alçaq gərginlikli dolağı bölünmüş birfazalı üçdolaqlı transformator;
– dörddolaqlı transformator.

Belə transformatorların əvəz sxemi və parametrlərinin hesabatı [12, səh. 29], metodiki göstərişlərdə verilib.

Elektrik sistemlərinin QQ cərəyanlarının və dayanıqlığının hesabatı zamanı əvəz sxeminin bəzi parametrləri (aktiv müqavimət, budağın maqnitlənmə müqaviməti) nəzərə alınmaya bilər (3.1 bölməsinə bax).

2.4. ELEKTRİK VERİLİŞİ XƏTLƏRİ

Uzunluğu 300 km-dən az olan elektrik veriliş xətləri üçün "П" – şəkilli əvəz sxemi istifadə olunur (*şək. 2.23*). Əvəz sxeminin parametrləri aşağıdakı kimi təyin olunur:



$$r_L = r_0 l, \quad x_L = x_0 l, \quad y_L = b_0 l,$$

burada l – xəttinin uzunluğu; r_o, x_o, b_o – vahid üzrə xəttin müqavimətləri və keçiriciliyidir.

Şəkil 2.23. Elektrik verilişi xəttinin əvəz sxemi

Bu parametrlərin təyini etmək üçün aşağıda ğöstərilən ilkin veri lənlər – xəttin nominal gərginliyi və dövrələrinin sayı, naqilin markası və en kəsiyi, dayaqda naqillərin yerləşməsi və onlar arasındakı

məsafə – məlum olmalıdır.
Xəttin uzunluğu 300 km-dən 1000 km-ə qədər olduqda parametrlər aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$X_L = k_x x_0 l, \quad r_L = k_r r_0 l, \quad y_L = k_y b_0 l,$$

burada k_x, k_r, k_y – xəttin uzunluğu boyunca parametrlərin bərabər paylanmasını nəzərə alan təshih əmsallarıdır və aşağıdakı formullarla hesablanır:

$$k_r = 1 - \frac{l^2}{3} x_0 b_0, \quad k_x = 1 - \frac{l^2}{6}\left(x_0 b_0 - r_0^2 \frac{b_0}{x_0}\right), \quad k_y = 0.5\frac{3 + k_R}{1 + k_R}.$$

Xəttin uzunluğu 1000 km-dən çox olduğu zaman əvəz sxeminin parametrləri kompleks düzəliş əmsallarını nəzərə almaqla təyin olunur:

$$\mathbf{Z}_L = \mathbf{k}_Z \mathbf{Z}_0 l, \quad \mathbf{y}_L = \mathbf{k}_y \mathbf{y}_0 l,$$

burada $\mathbf{Z}_0$, $\mathbf{y}_0$ – müvafiq olaraq xəttin kompleks müqavimətinin və keçiriciliyinin vahid uzunluq üzrə qiymətləridir.
Əmsallar $\mathbf{k}_z$ və $\mathbf{k}_y$ aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\mathbf{k}_Z = \frac{sh(\gamma_0 l)}{\gamma_0}, \quad \mathbf{k}_y = \frac{th\left[(\gamma_0 l)/2l\right]}{(\gamma_0 l)/2}$$

($\boldsymbol{\gamma}_0 = \sqrt{\mathbf{Z}_0 \mathbf{y}_0}$ - dalğın yayılma əmsalıdır).

Uzun məsafəli (1000 km və daha çox) olan elektrik veriliş xəttində keçid prosesləri üçün prosesin xarakteri xəttin

parametrlərindən asılıdır [9]. Bu halda uzun xətt dördqütblü kimi verilir. Belə dördqütblü xəttin parametrlərinin təyin olunması 9.9 bölməsində verilib.

2.5. YÜK

Yük – elektrik enerjisini onun digər növünə (istilik, mexaniki, işıqlanmaya və s.) çevirən elektrik enerjisinin son istehlakçısıdır.

Adətən, yük dedikdə ayrı-ayrı istehlakçılara deyil, qidalandırıcı yarımstansiyanın şininə qoşulan onun qovşağına, yüklər qrupuna baxılır.. Nümunə kimi *şək. 3.2*-də 35 kV-lik şindən qidalanan yük qovşağının təqribi sxemi verilib. Yük qovşağının tərkibinə asinxron və sinxron mühərriklərdən, işıqlanma və istilik elektrik qızdırıcılardan başqa sinxron kompensatorlar, kiçik elektrik stansiyaları və s. kimi yüklər də daxil ola bilər.

Şəhər yükünün təqribi strukturu növbəti cədvəldə təqdim olunur:

Şəhər yüklərinin orta tərkibi

İstehlakçı	İstehlakçıların payı
Asinxron mühərriklər	50
İşıqlanma	24
Düzləndirici və invertorlar, sobalar və qızdırıcı cıhazlar	10
Sinxron mühərriklər	10
Şəbəkədəki itkilər	6

İstehlakçıların tərkibi elektrik təchizatı rayonundan asılı olaraq geniş həddə dəyişə bilər. Elektrik sisteminin sxemlərində keçid proseslərinin hesabatında yüklərin göstərilməsi hesabatın məqsədi və onun dəqiqliyi ilə təyin olunur. Yük mərkəzləri dayanıqlığa, o cümlədən statik dayanıqlığa əsaslı təsir göstərən amillərdən biridir. Bu mənada onların hesabatlarda təsvir forması müxtəlif ola bilir. Yüklərin hesabatlarda təqdim olunmalarının bir neçə üsulunu nəzərdən keçirək:

1. *Sabit aktiv və reaktiv güclə*, gərginliyin 5 % meyletmələri halında təqribi (qərarlaşmış) rejimlərin hesalamalarında tətbiq olunur. Belə təsvirlərdə xətalar yüksək olur.

2. *Sabit müqavimət və ya keçiriciliklə*, statik və ya dinamik dayanıqlığın sadələşdirilmiş hesabatlarında (yükün özünün dayanıqlığının saxlanılması şərti ilə).

Ardıcıl birləşdirilmiş aktiv və reaktiv müqavimətlər halı üçün sabit müqavimətlərin, Z_y-in hesabatı aşağıdakı kimi yerinə yetirilir:

$$Z_y = r_y + jx_y = \frac{U^2}{S_y}(\cos\varphi_y + j\sin\varphi_y),$$

(2.23)

burada φ_y – yükün güc əmsalı,

S_y – yükün zahiri işçi gücüdür $\left(S_y = P_y + jQ_y = U\hat{I}_y\right)$ (əlavə 2.4).

Yükün bu formada göstərilməsindən analitik hesabatlar zamanı istifadə olunur. Yükün qoşulduğu düyün nöqtəsinin (qovşağın) gərginliyi məlum olmayan halalrında, (2.23) ifadəsində onun nominal yaxud orta gərginlik qiymətlərindən istifadə olunur.

Bəzi hallarda, məsələn, dəyişən cərəyan modellərindən istifadə olunan zaman yükün paralel birləşdirilmiş aktiv və reaktiv müqavimətlər kimi göstərilməsi daha əlverişli olur:

$$r_y = \frac{U^2}{P_y}, \qquad x_y = \frac{U^2}{Q_y}.$$

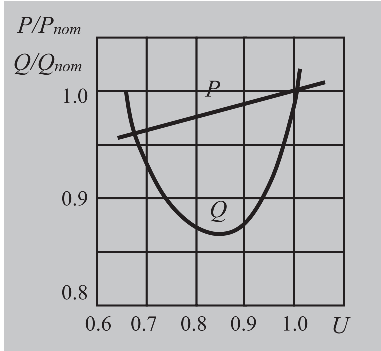
3. *Sabit gərginliklə* x_y= 1.2, qısaqapanmanın qərarlaşmış rejiminin hesabatı zamanı. Yükün müqaviməti nominal gücə və gərginliyə gətirilmişdir.

4. *Yükün EHQ -si E'* = 0.85 x_y = 0.35 *müqaviməti ilə,* QQ cərəyanın başlanğıc qiymətinin hesabatı zamanı. Yükün EHQ-si və onun müqaviməti nominal güc və gərginliyə gətirilmişdir.

5. *Gərginlik* $\left(P_y = \Psi_1(U), Q_y = \Psi_2(f)\right)$ *və tezliyə* $\left(P_y = \varphi_1(U), Q_y = \varphi_2(f)\right)$ *görə statik xarakteristikalar ilə,* yükün qəzadan sonrakı rejimdə sistemin dayanıqlığının hesabatlarında.

Gərginlik üzrə yükün statik xarakteristikaları:

1) naturada yerinə yetirilən eksperimentlərdən;
2) yükünün tərkibini hərtərəfli nəzərə alan hesabatlardan;
3) statik məlumatlardan əldə oluna bilər.



Sistemdə yerinə yetirilən eksperiment nəticəsində alınan statik Xarakteristikaların nümunəsi *şək.2.24*-də göstərilib. Ayrı-ayrı İstehlakçıların yükünün statik xarakteristikaları [4,17]-də verilib.

Şək. 2.24. Sənaye yükünün statik xarakteristikaları

Keçid proseslərinin hesabatını yerinə yetirərkən çox zaman yükün tərkibini və onun həqiqi parametrlərini təyin etmək çətin olur. Bu halda kompleks yükün xarakteristikalarından istifadə olunur. Dəqiqləşdirilmiş statik məlumatlar nəzərə alınmaqla belə xarakteristikaların təyin olunma metodu [4]-də verilib.

Bu metoda görə konkret məluumatlar olmadıqda kompleks yükün aşağıdakı xakteristikalarından istifadə etmək tövsiyə olunur:

– aktiv yük üçün növbəti təqribi dəyişmə diapazonu ilə orta hesabla

$$P_y \sim U\,,$$

$$P_y^{/} = 0.6 + 0.4U, \quad P_y^{//} = -0.4 + 1.4U; \qquad (2.24)$$

– reaktiv yük üçün 110...220 kV tərəfdə (cos φ-dən asılı olaraq)

$$Q_y = \frac{4.15}{tg\varphi_y} - \frac{9.5}{tg\varphi_y}U + \left(\frac{5.6}{tg\varphi_y} + 1\right)U^2,$$

təqribi dəyişmə diapazonu ilə

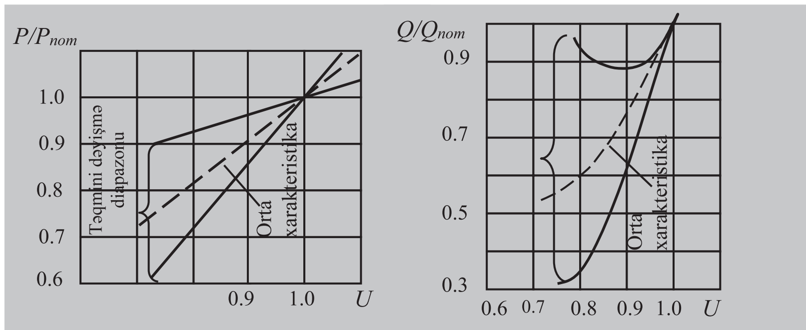
$$Q_y^{/} = \frac{5.6}{tg\varphi_y} - \frac{11.2}{tg\varphi_y}U + \left(\frac{5.6}{tg\varphi} + 1\right)U^2, \qquad (2.25)$$

$$Q_y^{//} = \frac{3.35}{tg\varphi_y} - \frac{8.9}{tg\varphi_y}U + \left(\frac{5.6}{tg\varphi_y} + 1\right)U^2, \qquad (2.26)$$

(2.24)....(2.26) asılılıqların qrafiki təsviri *şək. 2.25*-də göstərilib.

6. *Dinamik xarakteristikalarla,*

$$P_y = f_1(U,t), Q_y = f_2(U,t).$$



Şəkil 2.25. Kompleks yüklərin statik xarakteristikaları

Bu xarakteristikalar ilkin verilənlər kimi hesabatda istifadə oluna bilər və ya hesabatın özünün aparılma prosesində təyin oluna bilər. İkinci halda kompleks yük onun tərkibi üzrə təqdim olunur.

Yüklərin dinamik xarakteristikalarından böyük yük qovşaqlarının (düyünlərinin) bilavasitə yaxınlığlnda olan böyük təsirlər nəticəsində baş verən dayanıqlıq hesabatlarında istifadə olunur.Qeyd etmək lazımdır ki, yük qovşaqlarının dinamik xaraktristikaları yalnız yükun parametrləri ilə deyil, eləcə də enerji (enerji təchizatı) sisteminin parametrləri və rejimi ilə təyin olunur.

2.6. SİNXRON MÜHƏRRİKLƏR

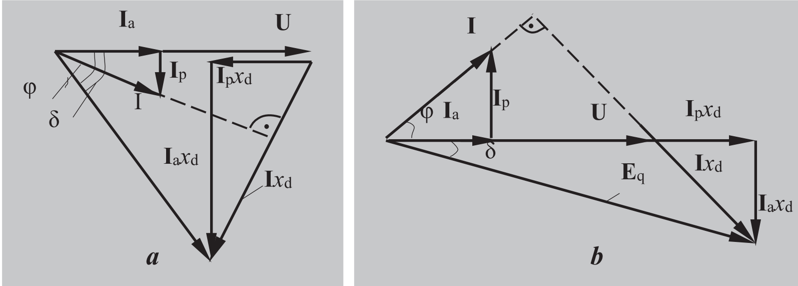
Sinxron maşınlar üçün 2.2 bölməsində verilən bütün nəticələr və hesabatlarda onun təqdim edilmə üsulları elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən sinxron maşın olan sinxron mühərriklər üçün də doğrudur. Lakin, bununla bərabər keçid proseslərini təhlil edərkən sinxron mühərriklər üçün xarakterik olan bəzi xüsusiyyətləri nəzərə almaq lazımdır:

1. Əgər sinxron generatorlar kiçik sürüşmə ilə işləyirsə, sinxron mühərriklərdə sürüşmə sıfırdan vahidə qədər dəyişə bilər. Sürüşmənin böyük həddə dəyişmələri zamanı dempfer konturlarının müqavimətinin aktiv mürəkkəbəsi kifayət qədər dəyişir. Ona görə də dəqiqləşdirilmiş hesabatlar üçün dempfer konturlarının aktiv müqavimətinin sürüşmədən asılılığı hesabata daxil edilir.
2. Sinxron mühərrik uzun müddət həm natamam təsirlənmə rejimində (təsirlənmə cərəyanının nominaldan aşağı oduqda), həm də ifrat təsirlənmə rejimində (təsirlənmə cərəyanının nominaldan yüksək olduqda) işləyə bilər. Mühərriklərin belə rejimlərdə vektor diaqramı *şək. 2.26*-də göstərilib. Natamam təsirlənən mühərrikin E_q EHQ-si mühərrikə tətbiq edilən U gərginliyin qiymətindən azdır. Mühərrik reaktiv güc sərf edir (istifadə edir). İfrat təsirlənmiş mühərrikin EHQ-si (E_q) mühərrikə tətbiq edilən gərginlikdən (U-dan) çoxdur. Gərginliyin istənilən şəkildə kəskin azalması mühərrikin generasiya etdiyi reaktiv cərəyanın artmasına səbəb olur. Mühərrik EHQ-si aşağıdakı formul ilə hesablanır:

$$E_q = \sqrt{(U \pm I_P x_d)^2 + (I_a x_d)^2},$$

burada "–" işarəsi natamam təsirlənmə, "+" işarəsi isə ifrat təsirlənmə rejiminə uyğundur;
reaktiv və aktiv cərəyanlar aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$I_r = \frac{Q_{MR}}{U}, \qquad I_a = \frac{P_{MR}}{U}.$$



Şəkil 2.26. Sinxron mühərriklərin vektor diaqramı:
a – natamam təsirlənmə rejimi; b – ifrat təsirlənmə rejimi

2.7. ASİNXRON MÜHƏRRİKLƏR

Yüklərin orta hesabla 50 %-dən çoxunu asinxron mühərriklər təşkil etdiyinə görə, onların sistemin düyün nöqtələrində keçid proseslərinə təsiri kifayyət qədərdir.

Keçid proseslərinin hesabatında asinxron mühərriklər aşağıdakı parametrlərlə təqdim olunur:

1. *Sabit müqaviməti*

$$Z_M = \frac{U^2}{S_M}(\cos\varphi_M + j\sin\varphi_M),$$

burada U – tətbiq olunmuş gərginlikdir.
Mühərrikin belə təqdim olunması QQ cərəyanlarının və sistemin dayanıqlığının təqribi hesabatları zamanı istifadə olunur.

2. *İfratkeçid EHQ və müqavimət*. Belə sxemdən QQ-nin başlanğıc anında cərəyanın hesabatı zamanı istifadə olunur. İfratkeçid müqaviməti, tormozlanmış mühərrikin

(S=100% olduqda) QQ müqavimətinə bərabər qəbul olunur. Bu müqavimətin nisbi qiyməti işəsalma cərəyanı ilə təyin olunur:

$$\boldsymbol{x}_{M.nom} = \frac{1}{\boldsymbol{I}_{işşesaa.nom}}.$$

QQ-nin başlanğıc anında asinxron mühərrik natamam təsirlənmiş sinxron mühərrik kimi fərz edilərək onun ifratkeçirici EHQ-si təyin olunur. Çünki, normal rejimdə o, kiçik sürüşmə ilə (S = 2…5%) işləyir. Mühərrikin vektor diaqramı *şək. 2.27*, *a*-da göstərilib.

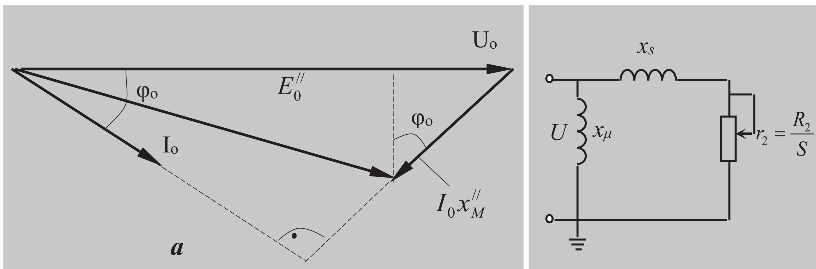
İfratkeçid EHQ-nin başlanğıc qiyməti E''_0 bundan əvvəlki rejimdən təyin olunur və vektor diaqramına müvafiq olaraq aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$E_0^{//} = \sqrt{\left(U_0 \cos\varphi_0\right)^2 + \left(U_0 \sin\varphi_0 - I_0 x_M^{//}\right)^2} \qquad (2.27)$$

və ya təqribi olaraq, E''_0 -nin onun U_0 vektoruna olan proyeksiyasına bərabərliyini qəbul edərək:

$$E_0^{//} = U_0 - I_0 x_M^{//} \sin\varphi_0, \qquad (2.28)$$

burada U_0, i_0, φ_0 – bundan əvvəlki rejimin parametrləridir.



Şəkil 2.27. Asinxron mühərrikin vektor diaqramı (a) və onun əvəzetmə sxemi (b):
$x_s = x_{s1} + x_{s2}$ – səpələnmə müqaviməti; $r_2 = R_2 /s$ – aktiv müqavimət;
x_μ – maqnitləndirmə müqavimətidir

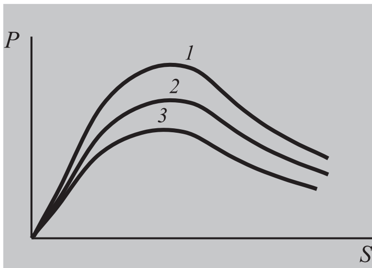
3. *Sürüşmə və gərginliyə görə statik xarakteristikalar*. Qərarlaşmış rejimlərdən kiçik meyletmlər halında asinxron mühərriklərin statik xarakteristikaları tətbiq olunur. Belə ki, növbəti ifadə ilə asinxron mühərrikin statik xarakteristikasını təsvir etmək olar:

$$M_{st} = F(U, s).$$

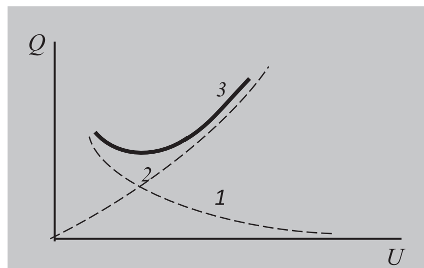
Asinxron mühərrikin əvəz sxeminə (*şək. 2.27, b*) müvafiq qurulmuş statik xarakteristikalarda mühərrikin statorundakı itkilər, həmçinin poladın maqnitləndirilməsi ilə əlaqədar olan aktiv güc itkiləri nəzərə alınmır. Qərarlaşmış rejimdə mühərrikin sərf etdiyi aktiv güc gərginlik və sürüşmə ilə aşağıdakı şəkildə əlaqəlidir:

$$P = I^2\frac{R_2}{S} = \frac{U^2R_2}{\left[(R_2/S)^2 + x_S^2\right]S} = \frac{U^2R_2S}{R_2^2 + (X_sS)^2} \qquad (2.29)$$

Asinxron mühərrikin aktiv gücə görə statik xarakteristikası olan (2.29) asılılığı *şək. 2.28*-da göstərilib.



Şəkil 2.28. P=f(s) xarakteristikası, tətbiq olunmuş gərginliyin U, 1; 0.9; 0.8–ə bərabər qimətlərində (1–3 əyriləri)



Şəkil 2.29. Mühərrikin reaktiv gücünün gərginlikdən asılılığı:
1 – $Q_\mu(U)$; 2– $Q_s(U)$; 3 –$Q_\Sigma(U)$

Mühərrikin sərf etdiyi reaktiv gücün iki mürəkkəbəsi var: maqnitləndirici Q_μ (maqnitləndirici cərəyanla əlaqədar olan) və səpələnmə gücü (statorda və rotorda səpələnmə sahəsinin

yaradılması ilə əlaqədar olan):

$$Q = Q_{\mu} + Q_S = \frac{U^2}{x_{\mu}} + I^2 x_s .$$

Reaktiv gücün gərginlikdən asılılığı *şək. 2.29*-də göstərilib.

Statik xarakteristikalardan keçid proseslərinin formalaşmasında əhəmiyyətli dərəcədə rolu olan dayanıqlıq, böyük mühərriklərin işəburaxma, özünü işəburaxma hesabatlarında istifadə olunur.

4. *Dinamik xarakteristikalar.* Qərarlaşmış rejimləridə cəld dəyişiklikıər zamanı proseslərin öyrənilməsi dimamik zarakteristikalar əsasında aparılır. Asinxron mühərriklərin dinamik xarakteristikası növbəti ifadə ilə təsvir olunur,

$$M_{din} = f(U, dU/dt,s, ds/dt).$$

Qeyd edək ki, bəzi hallarda dinamik proseslərə baxarkən kvazidinamik və ya statik xarakteristikalarda da istifadə olunur.

Daha ətraflı məlumatlar [17, səh 328]-də təqdim olunur.

2.8. CƏRƏYAN MƏHDUDLAŞDIRICI VƏ ŞUNTLAYICI REAKTORLAR

Hər iki növ reaktor hesabatda sabit induktiv müqavimətlə göstərilir və aşağıdakı formullarla hesablanır:

a) cərəyan məhdudlaşdırıcı reaktor üçün

$$X_r = \frac{U_S U_{nom}^2}{100 S_{nom}} = \frac{U_S U_{nom}}{100\sqrt{3} I_{nom}}, \qquad (2.30)$$

b) şuntlayıcı reaktor üçün

$$X_r = \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}},$$

burada U_{nom}, I_{nom}, S_{nom} – reaktorun nominal gərginliyi, cərəyanı və gücüdür;

U_x – reaktorda gərginlik düşgüsünün reaktiv mürəkkəbələridir (reaktorun nominal gərginliyindən, faizlə).

Hesabatda reaktorun aktiv müqaviməti nəzərə alınmır.

2.9. ELEKTRİK TƏCHİZATI SİSTEMİ

Güclü enerji təchizatı sisteminin keçid rejimi parametrlərinin hesabatı yalnız onun kiçik bir hissəsi üçün lazım olduğu halda, sistemin yerdə qalan hissəsi sadələşdirilmiş ekvivalent sxem şəkilində təqdim olunur. Bu sxem sistemin generatorları və yükünün EHQ və yekunlaşdırıcı müqaviməti birləşdirən ekvivalent EHQ E_c-dən ibarətdir. Yekunlaşdırıcı müqavimət aşağıdakı formul ilə hesablanır

$$x_C = \frac{E_C}{\sqrt{3} I_{qq}} = \frac{E_C^2}{S_{qq}}, \qquad (2.31)$$

burada I_{qq} – sistemin hesabat sxeminə birləşən düyün nöqtəsində (qovşağında) yaratdığı üçfazalı QQ cərəyanı;

S_{qq} – qısaqapanma gücüdür, aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$S_{qq} = \sqrt{3} I_{qq} U_{nom}$$

(U_{nom} – sistemə birləşən qovşağın nominal gərginliyidir).

Qısaqapanma gücü QQ-nin müəyyən zaman anı üçün verilir.

2.10. KEÇİD PROSESİNİN FORMALAŞMASINDA ELEKTRİK SİSTEMİ ELEMENTLƏRİNİN ROLU

Keçid prosesinin formalaşmasında elektrik sisteminin ayrı-ayrı elemetlərinin rolu energetik nöqteyi-nəzərdən qiymətləndirilə bilər. Çünki, elektrik və maqnit dövrələrində gedən fiziki proseslər elektromaqnit hadisəsi – yəni elektromaqnit sahəsinin olması ilə əlaqədardır. Enerjisistemin istənilən rejimi onun elementlərinin elektromaqnit enerjisinin müəyyən ehtiyatları ilə xarakterizə olunur.

Elektrik maşının maqnit sahəsinin enerjisini ifadə edərkən aşağıdakı kontur üçün Maksvel tənliyindən istifadə edək:

$$u = Ri + \frac{d}{dt}\Psi,$$

Burada, u – sıxaclardakı gərginlik;
R – dolağın müqaviməti;
i – dolaqdakı cərəyan;
Ψ – ilişmə selidir.

Bu tənliyi matrisa şəkilində yazıb, onu operator formasında ifadə etsək aşağıdakını alarıq:

$$[u] = [R][i] + p([L][i]),$$

burada L – xüsusi və qarşılıqlı induktivlikdən ibarət olan matrisadır.

Maqnit sahəsində yığılan cərəyan və induktivlik vasitəsilə ifadə olunan enerjini tapaq. Bunun üçün fərz edək ki, maşın hərəkət etmir, yəni sükunətdədir, ona görə də xüsusi L və qarşılıqlı M induktivlik sabitdir. Onda, üçdolaqlı maşın üçün gərginliklərin tənliyi aşağıdakı şəkildə olacaq:

$$u_1 = R_{11}i_1 + L_{11}\frac{di_1}{dt} + M_{12}\frac{di_2}{dt} + M_{13}\frac{di_3}{dt},$$

$$u_2 = M_{21}\frac{di_1}{dt} + R_{22}i_2 + L_{22}\frac{di_2}{dt} + M_{23}\frac{di_3}{dt},$$

$$u_3 = M_{31}\frac{di_1}{dt} + M_{32}\frac{di_2}{dt} + R_{33}i_3 + L_{33}\frac{di_3}{dt}.$$

Sıxaclardakı tam ani güc aşağıdakına bərabər olacaq

$$P = i_1u_1 + i_2u_2 + i_3u_3 = \sum_{k=1}^{3} R_{kk}(i_k)^2 + \sum_{k=1}^{3} L_{kk}i_k\frac{di_k}{dt} + \sum_{\substack{k=1\\n=1\\k\neq n}}^{\substack{n=3\\k=3}} M_{kn}i_k\frac{di_n}{dt}.$$

Burada $\sum_{k=1}^{3} R_{kk}(i_k)^2$ – müqavimətlərdə səpələnən gücdür, ifadənin yerdə qalan hədləri maqnit sahəsində yığılan gücü göstərir, ona görə ki, maşın sükunətdədir.

$M_{12} = M_{21}$ və s. nəzərə alaraq, zamana görə sıfır başlanğıc şərtdən inteqrallasaq, maşının maqnit sahəsində yığılan tam enerjisini alarıq:

$$W_M = \int_0^t Pdt = \sum_{k=1}^{3}\frac{L_{kk}(i_k)^2}{2} + \sum_{\substack{k=1\\n=2\\k\neq n}}^{\substack{n=3\\k=2}} M_{kn}i_ki_n. \qquad (2.32)$$

Maşının elektrik sahəsində yığılan enerjisi onun dolağının tutumunun kiçik olması səbəbindən nəzərə alınmır. Çünki, bundan sonra yalnız simmetrik maşında gedən proseslər baxıldığına görə $L_{kk} = L$, $M_{kn} = M$ qəbul etmək olar. Həmçinin, cərəyanların simmetriyasını nəzərə alaraq və cərəyanların ani qiymətini təsiredici qiymətlə əvəz edərək maşının maqnit sahəsində toplanan enerji ehtiyatının təsiredici qiymətini alarıq:

$$W_M = \frac{3}{2}\left(LI^2 - MI^2\right). \qquad (2.33)$$

(2.32) və (2.33) tənliklərində təsirlənmə dolağının maqnit sahəsində toplanmış enerji ehtiyatı nəzərə alınmayıb. Bu enerjini təqribi olaraq təsirlənmə dolağının induktivliyi nəzərdə tutulmuş ifadədən tapmaq olar. $T_{d0} = T_f$ qəbul edərək $L_f = T_{d0}\, r_f$ alarıq.

Təsirlənmə dolağının enerjisini aşağıdakı formul ilə hesablayaq:

$$W_{0.B} = \frac{L_f I_f^2}{2},$$

Burada, L_f, I_f – müvafiq olaraq təsirlənmə dolağının stator dolağına gətirilmiş induktivliyi və cərəyanıdır.

Bu tənlikdə $I_f = I_{f\,yi}$ və $I_f = I_{f\,nom}$ qiymətlərini yerinə yazsaq yüksüz işləmə rejimində, həmçinin normal və qəzadan sonrakı rejimlərdə generatorun təsirlənmə dolağında yığılmış enerji ehtiyatını alarıq. Məsələn, TBB-500-2 generatorunun təsirlənmə dolağında onun yüksüz işləmə rejimində yığılan enerji ehtiyatının qiyməti $0.49 \cdot 10^6\, J$, normal və qəzadan sonrakı rejimlərdə isə $2.86 \cdot 10^6\, J$ təşkil edir. Bir halda ki, tipik maşınların stator və rotor dövrələri parametrlərinin qiyməti eyni bir səviyyədədir, belə nəticə çıxarmaq olar ki, təsirlənmə dolağında yığılan enerji ehtiyatı stator dövrəsində yığılan enerji ehtiyatı ilə müqayisə oluna bilən həddədir və generatorun maqnit sahəsinin enerjisini hesablayarkən onu nəzərə almaq lazımdır.

Yüksək gərginlik xətti üçün dx elementinin elektrik və maqnit enerjisi aşağıdakı tənliklərlə ifadə olunur

$$dW_M = \frac{1}{2} i_x^2 L_0 dx, \quad dW_E = \frac{1}{2} u_x^2 C_0 dx, \qquad (2.34)$$

burada L_0 və C_0 – müvafiq olaraq xəttin xüsusi induktivliyi və tutumudur.

Xəttin uzunluğu üzrə (2.34) tənliklərini inteqrallayaraq yüksək gərginlik xəttinin elektrik və maqnit sahələrinin tam enerjisini alarıq

$$W_M = \frac{L_0}{2}\int_0^l i_x^2 dx, \quad W_E = \frac{C_0}{2}\int_0^l u_x^2 dx.$$

$\frac{1}{l}\int_0^l u_x^2 dx = u_{or}^2, \quad \frac{1}{l}\int_0^l i_x^2 dx = i_{or}^2$ nəzərə alaraq cərəyan və gərginliyin ani qiymətlərini təsiredici qiymətlərlə əvəz edərək elektrik və maqnit sahəsinə yığılmış enerjinin təsiredici qiymətini alarıq;

$$W_M = \frac{L}{2} i_{or}^2, \quad W_E = \frac{C}{2} U_{or}^2.$$

Buna oxşar ifadələri elektrik sisteminin istənilən elementinin elektromaqnit sahəsində yığılan enerjinin təyin olunması üçün yazmaq olar.

Bir qərarlaşmış rejimdən digərinə qəflətən keçilən zaman bundan əvvəlki qərarlaşmış rejimdə dövrənin elementlərinin sahəsində yığılmış enerji ehtiyatı, baş vermiş dəyişiklikdən sonra qərarlaşmış yeni rejimdə sahələrdəki enerji ehtiyatına uyğun olmadığına görə, dövrədə keçid prosesi baş verir. Bu səbəbdən də elektrik sisteminin hər bir elementinin bundan əvvəlki normal rejimlə (n.r), qəzadan sonrakı qərarlaşmış rejimin (q.s.r) energetik səviyyələrinin fərqi ilə

$$\Delta W_t = W_{n.r\,t} - W_{q.q.rt}$$

sistemin bu elementinin keçid prosesinin formalaşmasında rolunu xarakterizə etmək olar.

Aydındır ki, hər hansı bir elementin rolu onun qısaqapanma yerindən nə qədər uzaqda yerləşməsindən asılıdır. Energetik səviyyələrin fərqinə ehtiyata yığılmlş enerjinin mütləq qiyməti də təsir edir. Məsələn, uzun elektrik veriliş xəttində QQ zamanı keçid

prosesinin formalaşmasında müəyyənedici rolu xəttin özü oynayır [9].

Yuxarıda göstərilən energetik yanaşmadan, həmçinin QQ-nin bundan əvvəlki rejimi əhəmiyyətli dərəcədə dəyişmədiyi zaman, hesabat sxemini ekvivalentləşdirərkən, sxemin həmin hissəsinin təyin edilməsi üçün də istifadə oluna bilər. Sxemin bu hissəsi ekvivalent müqavimət və EHQ kimi təqdim oluna bilər.

YOXLAMA SUALLARI

1. Üçfazalı sistemin ümumiləşdirilmiş vektoru nədir və elektrik maşınının iş rejimlərinin təhlili zamanı onun rolu nədən ibarətdir?
2. Sinxron maşında keçid prosesi hansı tənliklərlə təsvir olunur?
3. Keçid proseslərinin hesabatında aydın və qeyri - aydın qütblü sinxron maşınların hansı əvəz sxemləri vardır?
4. Sinxron maşınların əsas parametrlərini sayın və onların fiziki mənasını izah edin.
5. Keçid proseslərinin hesabatında transformatorlar necə təqdim olunur?
6. Keçid proseslərinin hesabatında yükün təqdim olunma üsullarını göstərin.
7. Keçid proseslərinin hesabatında sinxron mühərriklərin təqdim olunma üsullarını göstərin.
8. Keçid proseslərinin hesabatında asinxron mühərriklərin təqdim olunma üsullarını göstərin.
9. Qısaqapanma cərəyanlarının və dayanıqlığın hesabatında mühərrikin təqdim olunmasının hansı sxemləri vardır?
10. Keçid prosesin formulşmasında elektrik sistemi elementlərinin rolunu necə qiymətləndirmək olar?

III F Ə S İ L

QQ CƏRƏYANLARININ HESABLANMASININ ÜMUMİ GÖSTƏRİŞLƏRİ

3.1. HESABLANMALARDA QƏBUL EDİLƏN ƏSAS SADƏLƏŞDİRMƏLƏR

Müsir elektrik sistemlərində (istənilən rayon elektrik sistemi belə sistemdir) bütün mövcud şərt və təsir edən faktorları nəzərə alan eltromaqnit keçid proseslərinin hesablanması mürəkkəb məsələləri sinfinə daxildir və çox zəhmət tələb edir. Bu səbəbdən, keçid prosesslərinin praktiki həllinə nail olunması məqsədilə bir sıra sadələşmələr qəbul olunur. Bu sadələşmələr bir çox amillərdən asılı olaraq ilk növbədə həll olunan məsələnin xarakter və qoyuluşundan asılı olur. Bu amilərdən bəziləri bir məsələnin həlli üçün doğru ola bildiyi halda, digəri üçün tamamilə qəbuledilməz ola bilər. Odur ki, aşağıda əsasən praktiki məsələlərin həlli zamanı qəbul edilən sadələşdirmələr verilir:

1. Üçfazalı sistemin simmetrikliyinın saxlanılması (bu yalnız zədələnmə yerində pozulur);
2. Transformatorların və avtotransformatorların maqnitləndirmə cərəyanının nəzərə alınmaması;
3. Maqnit sistemində doymanın olmaması (yəni sxemin bütün elementləri xəttiləşdirilir);
4. Aktiv müqavimətlər nəzərə alınmaması. Gərginliyi 1000 V-a qədər olan kiçik en kəsikli naqillərlə yerinə yetirilən

şəbəkələrdə QQ cərəyanının və zaman sabitinin qiymətləndirilməsinin hesabatı – istisnadır;

5. Xəttin tutum keçiriciliyi nəzərə alınmaması. Yerlə sadə qapanmaların hesabatı və yüksək gərginliki (>200 kV) elektrik verilişi xətləri – istisnadır;
6. Yüklərin sabit müqavimətlərlə nəzərə alınması;
7. Sinxron maşınların fırlanma sürəti sabit olmaqla, rəqslərin olmamsı (keçid prosesinin başlanğıc mərhələsi t = 0,1...0,2 san üçün). Hesabat sxeminin EHQ vektorlarının faza üzrə sürüşməsi nəzərə alınmır.

Keçid proseslərinin hesablanması üçün hesablanma texnikasının tətbiqi bəzi sadələşdirilmələrdən imtina etməyə və bununla da hesabatların nəticəsinin dəqiqliyini artırmağa və keçid prosesini xarakterizə edən hadisələri daha dolğun şəkildə nəzərə almağa imkan yaradır.

3.2. HESABLANMA ŞƏRTLƏRİ VƏ ƏVƏZ SXEMLƏRİNİN TƏRTİB OLUNMASI VƏ ONLARIN PARAMETRLƏRİNİN HESABLANMASI

Hesablamalar praktikasında keçid prosesslərinin aparılmasının təyinatından asılı olaraq ilkin hesablama şərtləri dəyişir. Onlar kifayyət qədər müxtəlifdir və məsələlərin xarakteri ilə müəyən olunur.

Məsələn, *açarların seçilməsində*, QQ zamanı cərəyanının mümkün ən böyük qiyməti təyin olunmalıdır. Bu məqsədlə qəbul olunur ki, QQ anında bütün birləşmələr (generatorlar, işlədicilər və s) qoşuludur və ən ağır QQ baş vermişdir.

Boşaldıcılar üçün QQ cərəyanının ən böyük qiyməti ilə yanaşı mümkün ən kiçik qiymətinin də təyin olunması tələb olunur.

Rele mühafizə və avtomatika sistemlərinin seçilməsi məqsədilə hesablama şərtləri tamamilə fərqlənir. Belə hesabatlarda sistemin ilkin rejininin, torpaqlanan neytralların sayının və yerləşməsinin, zədələnmənin növünün, zədəli elementlərin açılma ardıcıllığı və s. təyin olunması tələb olunur.

Sinxron maşının sahəsinin söndürülmə məsələsinin həlli zamanı hesablama rejimi qismində QQ rejimi ilə yanaşı yüksüz iş rejimi qəbul oluna bilər.

Elektrik sisteminin prinsipial sxemi əsasında keçid rejiminin hesablanmasından əvvəl onun hesablanama sxemi tərtib olunur. Hesablanma sxemi prinsipial sxemdən onunla fərqlənir ki, birxətli təsvirdə yalnız gəza cərəyanları və ya onların mürəkkəbələrinin axması mümkün ola bilən elementlər göstərilir. Hesablanama sxemində transformator olduqda, mövcud *maqnit əlaqəli* dövrəni bir ekvivalent *elektrik əlaqəli* dövrə kimi göstərmək məqsədəuyğundur. Mürəkkəb elektrik sxeminin əvəz sxemi onun ayrı-ayrı elementlərinin əvəz sxemlərinin birləşmələrindən ibarətdir (*cədvəl 3.1*). Bu əvəz sxemlərində elementlər hesablama sxemində olduğu kimi birləşdirilib.

Əvəz sxemi tərtib olunduqdan sonra onun parametrləri adlı və ya nisbi vahidlər sistemində hesablanır. Adətən elelmentlərin parametrlərinin nisbi qiymətləri nominal şərtlər daxilində verilir. Bundan sonra alınmış qiymətlər gərginliyin əsas pilləsinə gətirilir.

3.2.1. Nisbi vahidlər sistemi

Istənilən fiziki kəmiyətlərin adlı deyil nisbi, ölçüsüz vahidlər sistemində ifadəsi nəzəri nəticələrin izhanı sadələşdirir və onların izahına əlavə aydınlıq verir.

Bundan əlavə, elektrik kəmiyyətlərinin nisbi vahidlərdə ifadə olunmasından elektrik maşınları nəzəriyyəsində geniş istifadə olunur. Bu onunla əlaqədardır ki, istənilən kəmiyyətin adlı deyil, nisbi vahidlərdə təqdim olunması izahları, nəzəri nəticələri əhəmiyyətli dərəcədə sadələşdirir və hesablamaların nəticələrinə çox böyük əyanilik gətirir.

Nisbi vahidlər sistemi növbəti üstünlüklər malikdir:

- İşarələmələrə diqqət yetirmək tələb olunmur;
- Hesabalmaların rahatlığı üçün ədədlərin seçilməsində sərbəstlik imkanı yaradır;
- Oxşarlıq nəzəriyyəsinin əsasları sahə məsələlərini dövrə məsələləri ilə əlaqələndirməyə imkan verir:

$$L = \Psi/i\ ;\ E = \omega\Psi\ ;\ x_* = \omega_* L_*,$$

Cədvəl 3.1

QQ cərəyanlarının hesablanması zamanı əvəz sxemlərində elektrik sistemi elementlərinin göstərilməsi

Elementlərin adı	Prinsipial sxemi	Əvəz sxemi	Müqavimətlərin ifadələri	
			Adlı vahidlərdə	Nisbi vahidlərdə
Sistem	S, U_{nom}	$E^{//}_S$, $x^{//}_S$	$X^{//}_S = \frac{U^2_{or.nom}}{S^{//}_{qq}}$	$X^{//}_S = \frac{S_b}{S^{//}_{qq}}$
Sinxron generator (dempfer dolaqları ilə) və sinxron mühərrik	G, U_{nom} t =0	$E^{//}_g$, $x^{//}_d$	$X^{//}_d = X^{//}_{d*nom}\frac{U^2_{nom}}{S_{nom}}$	$X^{//}_d = X^{//}_{d*nom}\frac{S_b}{S_{nom}}$
	MS, U_{nom} t = ∞	E_g, x_d	$X_d = X_{d*nom}\frac{U^2_{nom}}{S_{nom}}$	$X_d = X_{d*nom}\frac{S_b}{S_{nom}}$
Asinxron mühərrik	M, U_{nom} t = 0	$E^{//}_M$, $x^{//}_M$	$X^{//}_M = \frac{U^2_{nom}}{l_p S_{nom}}$	$X^{//}_M = \frac{S_b}{l_p S_{nom}}$
	t = ∞	E_M, x_M	$X_M = \frac{U^2_{nom}}{S_{nom.M}}$	$X_M = \frac{S_b}{S_{nom.M}}$
Ümumiləşdirilmiş yük	$S_н$, $U_н$ t = 0	$E^{//}_y$, $x^{//}_y$	$X^{//}_y = 0{,}35\frac{U^2_{nom}}{S_{nom}}$	$X^{//}_y = 0{,}35\frac{S_b}{S_{nom}}$
	t = ∞	x_y	$X_y = 1{,}2\frac{U^2_{nom}}{S_{nom}}$	$X_H = 1{,}2\frac{S_б}{S_{ном}}$
Transformator	T	x_T	$X_T = \frac{U_K\%U^2_{ном}}{100\ S_{ном}}$	$X_T = \frac{U_K\%S_б}{100\ S_{ном}}$
Üçdolaqlı trasformator avtotransformator	T AT	xY xO xA	$X_Y = \frac{U_{KY}\%U^2_{nom}}{100\ S_{nom}}$ $X_O = \frac{U_{KO}\%U^2_{nom}}{100\ S_{nom}}$ $X_A = \frac{U_{KA}\%U^2_{nom}}{100\ S_{nom}}$	$X_Y = \frac{U_{KY}\%S_b}{100\ S_{nom}}$ $X_O = \frac{U_{KO}\%S_b}{100\ S_{nom}}$ $X_A = \frac{U_{KA}\%S_b}{100\ S_{nom}}$
Reaktor	R	x_R	$X_R = \frac{X_R\%U_{R\ nom}}{100\sqrt{3}l_{R\ nom}}$	$X_R = \frac{X_R\%l_b U_{R.nom}}{100 l_{nom} U_b}$
Hava və ya kabel xətti	L L	x_L, R_L	$R_L = r_0 l$ $x_L = x_0 l$	$R_L = r_0 l\frac{S_b}{U^2_b}$ $X_L = x_0 l\frac{S_b}{U^2_b}$

burada $\omega_* = \omega / \omega_b = \omega/\omega_0 = 1$.

Onda: $x_* = L_*;\ E = \omega_* \Psi_* = \Psi_*;\ t_* = t/t_b = \omega_0 t_{*(s)} = 314\ t_{*(s)}$.

Sonradan bu ifadələrə daha ətraflı baxılacaq.

Hər hansı bir kəmiyyətin *nisbi qiyməti dedikdə onun bazis kimi qəbul olunmuş eyni adlı kəmiyyətə nisbəti başa düşülməlidir*. Ona görə də hər hansı bir kəmiyyəti nisbi vahidlərdə göstərilməsndən əvvəl, ilk növbədə müvafiq ölçü vahidini seçmək, başqa sözlə *bazis vahidini* seçmək lazımdır.

Bazis elektrik vahidi dört parametrdən (S_b , U_b , I_b , Z_b) ibarətdir. Lakin, onlardan yalnız ixtiyari iki kəmiyyət asılı deyil, yəni sərbəst şəkildə seçilə bilər. Praktiki baxımından, bazis cərəyanı və bazis xətti gərginliyi qismində, ixtiyarı I_b, U_b kəmiyyətlərini qəbul edək. Onda, üçfazlı sistemin digər iki asılı parametri, bazis gücü,

$$S_b = \sqrt{3} U_b I_b ,$$

bazis müqaviməti isə

$$Z_b = \frac{U_b}{\sqrt{3} I_b} .$$

formulu ilə təyin olunur. Yəni, ifadələr adlı vahidlər sistemində olduğu kimi, Om qanununa tabedir.

Buradan belə görünür ki, həqiqətən, dört bazis vahidindən ancaq iki kəmiyyət ixtiyarı seçilə bilər, yerdə qalanlar isə göstərilən münasibətlərdən əldə olunur. Faz və fazlararası gərginliklər, eləcə də xətti bazis cərəyanları simmetrik qısqapanmalar üçün öz aralarında məlum münasibətlərlə əlaqəlidirlər. Xüsusilə qeyd edək ki, seçilmiş bazis vahidlər sistemi həm tam, həm də onların mürəkkəbələrini (aktiv, reaktiv və s.) təyin etməyə imkan verir.

Odur ki, elektrik sisteminin adlı vahidlərdə verilən istənilən parametrini, seçilmş bazis şərtlərinə uyğun olaraq nisbi vahidləri sistemində aşağıdakı formullarla hesablanacaq:

$$U_{*b} = U / U_b , \quad (3.1)$$

$$I_{*b} = I / I_b , \quad (3.2)$$

$$S_{*b} = S / S_b , \quad (3.3)$$

$$Z_{*b} = Z / Z_b. \qquad (3.4)$$

Burada, U, I, S, Z – müvafiq parametrlər, adlı vahidlərdədir (V,A,VA, Om);

indeks * –kəmiyyətlərin nisbi vahidlərdə ifadə olunmasını və

b – kəmiyyətin bazis şərtlərinə gətirildiyini göstərir.

Nisbi vahidlərdə faz və fazlararası gərginliklər qiymətcə eynidir, faz gücü və üç fazın gücünə də eyni yanaşma şamil olunur.

Bazis müqavimətinin ifadəsini (3.4) formulunda yerinə yazaraq, nisbi müqaviməti başqa cür də təyin etmək olar:

$$Z_{*b} = Z / Z_b = \frac{\sqrt{3} I_b Z}{U_b} = Z \frac{S_b}{U_b^2}. \qquad (3.5)$$

Burada, Z – verilmiş müqavimət, faz üzrə, *om*;

I_b – bazis cərəyanı, *A*;

U_b – fazlararası bazis gərginliyi, *V*;

S_b – bazis gücü, *MVA*.

Bu ifadədən görsənir ki, nisbi müqavimət kəmiyyətcə ondan bazis cərəyanı (gücü) keçərkən nisbi gərginlik düşgüsünün qiymətinə bərabərdir.

Bazis şərtlərinin seçilməsi ixtiyari olduğuna görə nisbi vahidlərdə eyni parametrin qiyməti müxtəlif ola bilər. Məsələn, bir sıra güc elementlərinin parametrlərinin pasport göstəricililəri adlı vahidlərdə deyil, faiz və ya nisbi vahidlərdə verilir. Bu halda, bazis vahidinin xüsusi halı kimi, hər hansı bir elementin nominal parametrləri – I_{nom}, U_{nom}, S_{nom} bazis qismində qəbul olunur. Nisbi nominal vahidlərdə generatorların, mühərriklərin, transformatorların, reaktorların parametrləri ifadə olunur. Bazis şərtlərinin hesablanması aşağıdakı şəkildə yerinə yetirilir:

$$U_{*b} = U_{*nom} \frac{U_{nom}}{U_b};$$

$$Z_{*b} = Z_{*nom} \frac{I_b U_{nom}}{U_b I_{nom}} = Z_{*nom} \frac{S_b U_{nom}^2}{S_{nom} U_b^2}. \qquad (3.6)$$

Qeyd edək ki, avdanlıqların pasport göstəriciləri nisbi vahidlər sisitemində verildikdə onların parametrlərini elementlərin nominal parametrlərinə nisbətdə təyin edirlər ($U_{*nom} = U/U_{nom}$; $Z_{*nom} = Z/Z_{nom}$ və s.). Bazis şərtlərini elə seçmək lazımdır ki, hesablamalar sadə və bazis qiymətlərinin ölçüləri əməliyyatlar üçün kifayyət qədər rahat olsun.

Bəzi hallarda, nisbi kəmiyyətləri faizlə ifadə edirlər. Belə ifadələr arasında əlaqə aydındır:

$$Z_{\%} = 100Z.$$

Transformatorlada aktiv müqavimət kifayyət qədər kiçik olduğuna görə, onları nəzərə almasaq onda, transformatorlarun faizlə ifadə olunan verilən qısaqapanma gərginliyi $u_{k\%} = z_{\%} \approx x_{\%}$ qismində hesab etmək olar.

Nisbi vahidlərdə istənilən fiziki kəmiyyətləri ifadə etmək olar. Bunlardan elektrik sistemində *elektromexaniki keçid proseslərini xarakterizə edən parametrlərə* baxaq.

Zaman: Zamanın bazis kəmiyyəti olaraq elektrik maşınının rotorunun sinxron sürətlə fırlanması (ω_o) zamanı rotorun bir elektrik radianı qədər dönmə müddəti qəbul olunur, yəni $\omega_o t_b = 1$ yaxud $t_b = 1/\omega_o$.

Beləliklə, nisbi vahidlərdə ifadə olunan, zaman, $f = 50Hz$ tezlikdə aşağıdakı kimi hesablanacaq ($\omega_o = 2\pi f$):

$$t_{*b} = \frac{t}{t_b} = \omega_0 t = 314t.$$

Xüsusi halda, istənilən konturun zaman sabiti aşağıdakı formul ilə ifadə olunur:

$$T_{*b} = \omega_0 T = \omega_0 \frac{L}{R} = \frac{x}{R} = \frac{x_{*b}}{R_{*b}}.$$

Beləliklə, zaman sabitinin nisbi qiyməti adlı və ya nisbi vahidlər sistemində ifadə olunan induktiv müqavimətin aktiv müqavimətə kimi təyin olunur.

Sürət: Bucaq sürətinin ölçmə vahidi olaraq sinxron bucaq sürəti (ω_o) qəbul olunur, onda

$$\omega_{*b} = \frac{\omega}{\omega_b} = \frac{\omega}{\omega_0} \text{ olar.}$$

Rotorun dönmə bucağı: Elektrik maşının rotorunun dönmə bucağı həm nisbi vahidlər sistemində (radian), həm də elektrik dərəcəsi ilə ifadə olunur. Elektrik dərəcəsi və ya radianla ifadə olunan bucaq həndəsi dərəcə ilə ifadə olunan bucaqla aşağıdakı əlaqəyə malikdir (*şək. 3.1*)

$$\frac{\delta_{el}}{\delta_{hen}} = \frac{180}{360/2m_p},$$

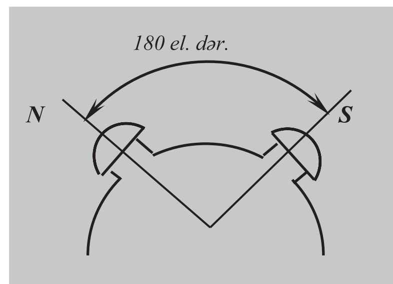
Burada $\delta_{el} = \delta_{hen} m_r$ (m_p generatorun cüt qütblərinin sayıdır).

Radian və bucaqla ifadə olunmuş bucaqların nisbəti aşağıdakı kimidir:

$$\frac{\delta_{rad}}{\delta_{der}} = \frac{2\pi f}{360 f},$$

buradan

$$\delta_{rad} = \frac{314}{18000}\delta_{el} = \frac{\delta_{el}}{57.3}.$$



Şəkil 3.1. Bucağın elektrik dərəcəsi ilə təqdim olunması

Analoji olaraq, *induktivliyin* və *ilişmə selinin* bazis vahidinin ifadələrini yaza bilərik:

induktivlik

$$L_b = \frac{Z_b}{\omega_b} = \frac{Z_b}{\omega_0},$$

ilişmə seli

$$\psi_b = \frac{U_b}{\omega_b} = \frac{U_b}{\omega_0}.$$

Bazis bucaq sürəti halında ilişmə seli Ψ_b bazis gərginliyini induksiyalayır.

Göstərilən bazis vahidləri üçün aşağıdakı ifadələri yazmaq olar:

$$x_{*b} = \omega_0 L_{*b},$$
$$\psi_{*b} = I_{*b} L_{*b} = I_{*b} x_{*b},$$
$$E_{*b} = \omega_0 \psi_{*b} = \psi_{*b},$$

Bir nisbi kəmiyyətin digəri ilə əvəz olunma imkanı nisbi vahidlər sisteminin mühüm üstünlüyüdür.

3.2.2. Sxemin parametrlərinin gərginliyin əsas pilləsinə gətirilməsi

Hesablama sxemində transformatorlar və avtotranformatorlar olduqda transformasiyanın müxtəlif pillələrində olan sxemlərin müqavimətlərinin və EHQ-lərinin əsas kimi qəbul olunmuş bir pilləyə gətirilmə zəruriyyəti yaranır. Yəni, hesablama sxemlərində maqnit əlaqəli dövrələri vahid elektrik əlaqəli əvəz sxemi ilə təsvir olunması məqsədəuyğun hesab olunur. Gətirilmə, transformatorun məlum nəzəriyyəsinə əsaslanır və gətirilmiş parametrlər üçün aşağıdakı nisbətləri verir*:

$$\overline{E} = (k_1 k_2 ......k_n) E, \tag{3.7}$$

---

* İfadələrin yuxarısındakı xətt işarəsi verilən kəmiyyətlərin gətrildiyinə işarə edir və çox hallarda sadəlik naminə buraxılır.

$$\overline{U} = (k_1 k_2 ......k_n)U, \qquad (3.8)$$

$$\bar{I} = \frac{1}{\left(k_1 k_2 ...k_n\right)} I, \qquad (3.9)$$

$$\overline{Z} = (k_1 k_2 ......k_n)^2 Z, \qquad (3.10)$$

Burada, transformatorun və ya avtotransformatorun transformasiya gərginliklərinin nisbəti başa düşülür *və əsas pillədən gətrilməsi tələb olunan kəmiyyətin yerləşdiyi pilləyə doğru istiqamətdə təyin edilir*. Əsas gərginlik pilləsi kimi transformatorun istənilən dolağının fazlararası gərginliyi gəbul edilə bilər və yerdə qalan digər pillələrin gərginliyi əsas pilləyə gətirilir. Bu halda tranformasiya əmsalı vahiddən böyük və ya kiçik ola bilər.

Parametrlərin adlı vahidlərdə gətirilmələri. (3-10) formulunun tətbiqi sxemin elementlərinin hamısının öz gərginlik pilləsininə gətrilmiş müqavimətlərinin *Om*-la ifadə olunmasını tələb edir. Müqavimətləri nisbi nominal vahidlərdə verilmiş elementlər (generatorlar, transformatorlar və s.) üçün müqavimətlərin *Om*-la ifadələri aşağıdakı kimi olacaq:

$$Z = Z_{*nom} Z_{nom} = Z_{*nom} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} = Z_{*nom} \frac{U_{nom}}{\sqrt{3} I_{nom}}.$$

Əsas gətrilmə pilləsi kimi, adətən QQ baş verən pillənini qəbul olunması məqsədəuyğun hesab olunur. *Şək. 3.2*-də göstərilən ES sxeminin bir sıra elementlərinin müqavimətləri (əsas pillə kimi 220 kV qəbul olunub) aşağıdaki kimi təyin olunur:

G generatoru üçün,

$$\bar{x}_G = x_{nomG} \frac{U_{nomG}^2}{S_{nomG}} \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2, \qquad \bar{E}_G = E_G \frac{U_2}{U_1};$$

L4 xətt üçün

$$\bar{x}_L = x_0 l \left(k_2 k_3\right)^2 = x_0 l \left(\frac{U_3 U_6}{U_5 U_7}\right)^2; \qquad (3.11)$$

T– 4 transformator üçün

$$\bar{x}_T = \frac{U_K\% U_{nom}^2}{100 S_{nom}} \left(k_2 k_3\right)^2 = \frac{U_K\% U_{nom}^2}{100 S_{nom}} \left(\frac{U_3 U_6}{U_5 U_7}\right)^2. \qquad (3.12)$$

Elementlərin göstərilən şəkildə verilmiş sxemdə hesablanan cərəyan və gərginlikləri yalnız onun əsas kimi qəbul olunmuş pilləsi üçün realdır. Sxemin başqa pillələrindəki həqiqi gərginliklər və cərəyan (3.8) və (3.9) ifadələri ilə hesablanmaqla tapılır.

Prametrlərin nisbi bazis vahidlərində gətirilmələri. *Şək. 3.2*-də göstərilən sxemin bir sıra elementlərinin nisbi bazis vahidlərində müqavimətlərinin ifadələri (220 kV-luq əsas pilləyə gətirilmiş) aşağıdakı kimi olacaq:

G generatoru üçün

$$x_{G*b} = x_{G*H} \frac{S_b U_{nomG}^2}{S_{nomG} U_b^2} \left(k_1\right)^2 = x_{G*H} \frac{S_b U_{nomG}^2}{S_{nomG} U_b^2} \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2; \qquad (3.13)$$

L4 xətt üçün

$$x_{L*b} = x_0 l \frac{S_b}{U_b^2} \left(k_2 k_3\right)^2 = x_0 l \frac{S_b}{U_b^2} \left(\frac{U_3 U_6}{U_5 U_7}\right)^2; \qquad (3.14)$$

T–4 transformator üçün

$$x_{T*b} = \frac{U_K\% S_b U_{nom}^2}{100 S_{nom} U_b^2} \left(k_2 k_3\right)^2 = \frac{U_K\% S_б U_{nom}^2}{100 S_{nom} U_b^2} \left(\frac{U_3 U_6}{U_5 U_7}\right)^2; \qquad (3.15)$$

Şəkil 3.2. Elektrik təchizatı sisteminin prinsipial sxemi: M və MS – asinxron və sinxron mühərriklər; İEQ – istilik elektrik qızdırıcıları; KL – közərmə lampaları; MŞ – magistral şin naqili; sxemdə ancaq onun modifikasiyası üçün vacib olan açarlar göstərilib.

(3.13) – (3.15) formullarından transformasiya əmsalını bazis gərginliyinə daxil edək. Alınan ifadənin görünüşü (3.6)-da olduğu kimidir:

$$x_{G*b} = x_{G*b} \frac{S_b U_{nomG}^2}{S_{nomG} U_{b2}^2}, \quad E_{G*b} = \frac{E_G}{U_{b2}};$$

$$x_{L*b} = x_0 l \frac{S_b}{U_{b3}^2}; \quad x_{T*b} = \frac{U_K \%}{100} \frac{S_b}{S_{nomT}} \frac{U_{nomT}^2}{U_{b3}^2}; \qquad (3.16)$$

$$U_{b2} = U_{b1}\left(1/k_1\right); \quad U_{b3} = U_{b1}\left(1/k_1 k_2\right).$$

(3.16) ifadəsindəki gərginliklər gətirilən müqavimətlərin aid olduqları pilləyə uyğun bazis gərginliyini göstərir. Beləliklə, nisbi bazis vahidlərində sxemin parametrlərini hesablamaq üçün sxemin bir pilləsi üçün bazis vahidini seçmək, bundan sonra (3.16) formulları üzrə digər pillələr üçün bazis gərginliyini təyin etmək lazımdır. Bu zaman hər pillənin bazis cərəyanı aşağıdakı kimi hesablanır:

$$I_{b2} = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_{b2}}, \qquad I_{b3} = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_{b3}}.$$

Bundan sonra nisbi bazis vahidlərində (3.1) – (3.6) ifadələri ilə bütün kəmiyyətlər hesablanır. Bununla yanaşı, göstərilən hər bir ifadədə U_b, I_b, z_b bazis vahidləri və parametrlər hansıların ki, nisbi vahidlər sisteminə gətrilməsi zəruridir, eyni transformasiya pilləsinə uyğun olmalıdır.

Baxılan nümunədə gətirilmələrdə U_{bi} bazis gərginliyinin təyin olunması üçün ilkin kəmiyyətlər qismində verilən həqiqi transformasiya əmsalları iştirak edirlər. Belə gətirilmə *dəqiq gətirilmə* adlanır.

Praktiki hesabatlarda ifadələri sadələşdirməyə və hesabatların həcmini azaltmağa imkan verən *təqribi gətirilmədən* istifadə olunur. Təqribi gətirilmə ondan ibarətdir ki, transformasiyanın hər bir pilləsi üçün aşağıda göstərilən gərginlik şkalasından istifadə edərək *orta nominal gərginlik* $U_{or.nomi} \approx 1{,}05 U_{nomi}$ müəyyən edilir: 515, 340, 230, 154, 115, 75, 37, 24, 20, 18, 15, 13.8, 10.5, 6.3, 3.15, 0.69, 0.4, 0.23, 0.127 kV.

Bu zaman qəbul edilir ki, eyni pillədə yerləşən bütün elementlərin nominal gərginliyi (onlarla eyni pillədə olan

reaktorlardan başqa) eynidir və U_{or} -ya bərabərdir. Bu halda hər bir transformatorun transformasiya əmsalı $U_{or.y} / U_{or.al}$ nisbətinə bərabər olur (yüksək və alçaq gərginlik dolaqlarının orta nominal gərginliyidir). Kaskad transformatorların transformasiya əmsalı kənar pillələrin orta nominal gərginliklərinin nisbəti kimi təyin ediləcək ki, bu da gətrilmələri sadələşdirir.

Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alaraq, *Şək. 3.2*-də göstərilən sxemin bir sıra elementlərinin müqvimətlərinin (3.16)-da verilən ifadələrin təqribi gərtilmələr üçün formulları növbəti şəkildə olacaq:

$$x_{G*b} = x_{nomG*b} \frac{S_b}{S_{nomG}}, \quad E_{G*b} = \frac{E_G}{U_{b2}};$$

$$x_{L*b} = x_0 l \frac{S_b}{U_{b3}^2}; \quad x_{T*b} = \frac{U_K\%}{100} \frac{S_b}{S_{nomT}}.$$

Qeyd edək ki, təqribi gətrilmələr heablamalarda müəyyən xətalarla müşahidə olunduğuna görə, onun tətbiqi əsaslandırılmalıdır. Digər tərəfdən, hesablamaların dəqiqiliyiadlı və ya nisbi vahidlər sisteminin seçilməsindən asılı deyil. Hesablama ifadələri *cədvəl 3.1*-də təqdim edilmişdir.

Nümunə 3.1.

İlkin verilənlər:
Sxem (şəklə bax)
Sxemin elementlərinin parametrləri:

Generator G: $S_{nom} = 176.5MVA, \quad U_{nom} = 15.75kV, \quad x_d^{//} = 0.15.$

Transformator T-1: $S_{nom} = 180MVA, \quad 242/15.75kV, \quad U_{qq} = 12\%.$

Transformator T-2, T-3:
$S_{nom} = 90MVA, 220/38.5/11kV, U_{y.or} = 12\%, U_{y.al} = 20\%, U_{or.al} = 8\%.$

Transformator T-4: $S_{nom} = 60MVA, \quad 35/6.6kV, \quad U_{qq} = 10.5\%.$

Xətt L1, L2: $l = 110km, \quad x_0 = 0.4Om/km.$

Xətt L3: $l = 30km, \quad x_0 = 0.4Om/km.$

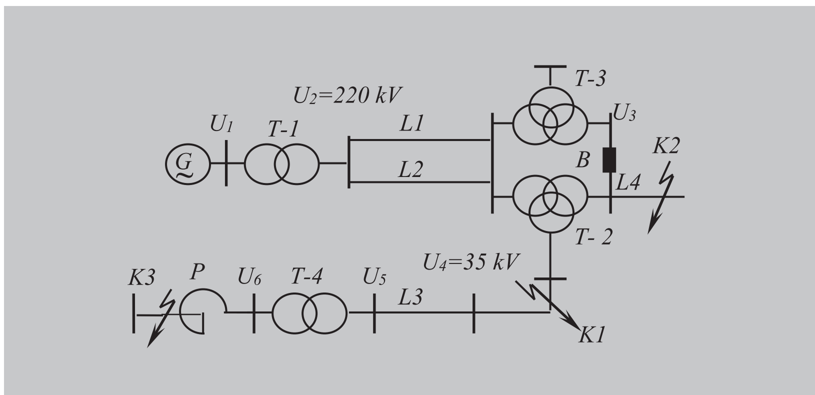
Xətt L4 (kabel): $l = 2.5km, \quad x_0 = 0.08Om/km.$

Reaktor: $U_{nom} = 6kV, \quad I_{nom} = 500A, \; x = 5\%.$

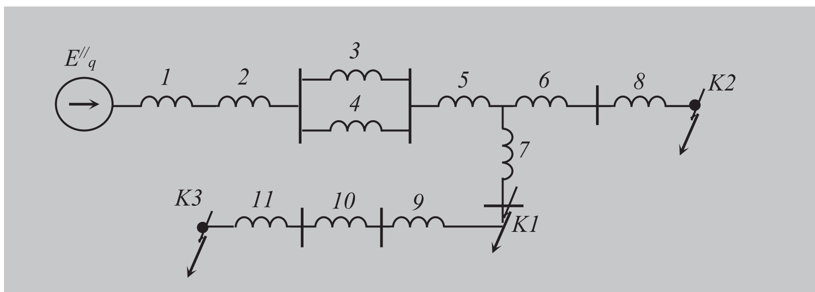
Tələb olunur:

Elektrik sisteminin verilmiş sxemi üçün dəqiq və təqribi gətirmələri nisbi və adlı vahidlərdə yerinə yetirin. Generatorun əvvəlcədən nominal gərginliklə yüksüz iş rejimində işlədiyini nəzərə alaraq, üçfazalı QQ zamanı başlanğıc ifratkeçid cərəyanı (təsiedici qiymətini) təyin edin.

Həlli



Hesablama əvəz sxemi



1. Adlı vahidlərdə dəqiq gətirilmələr

Əsas pillə kimi T-1 transformatorunun yüksək gərginlik şinini $U_{əs.} = 220$ kV qəbul edək. Həqiqi transformasiya əmsallarının nəzərə alınması zamanı reaktiv müqavimətlərin aşağıda verilən gətirilmə qiymətlərini alarıq:

$$x_1 = x_d^{//} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} (k_{t1})^2 = 0.15 \frac{15.75}{176.5} \left(\frac{242}{15.75} \right)^2 = 49.8\, Om, ;$$

$$x_2 = \frac{U_{qq}\%}{100} \frac{U_{nom1}^2}{S_{nom1}} = \frac{12}{100} \frac{242^2}{180} = 39\, Om, \quad x_3 = x_4 = x_0 l_1 = 0.4 \cdot 110 = 44\, Om,$$

;

$$x_5 = \frac{U_{qq.y} U_{nom}^2}{100 S_{nom}} = \frac{12}{100} \frac{220^2}{90} = 64.5\, Om,$$

Burada,

$$\mathrm{U}_{\mathrm{qq.y}} = 0.5 \left(U_{qq.y-or} + U_{qq.y-a\ell} - U_{qq.or-a\ell} \right) = 0.5 (12 + 20 - 8) = 12\%, ;$$

$$x_6 = \frac{U_{qq.a\ell}}{100} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} = \frac{8}{100} \frac{220^2}{90} = 43\, Om,$$

Burada,

$$\mathrm{U}_{\mathrm{qq.a}\ell} = 0.5 \left(U_{qq.y-a\ell} + U_{qq.or-a\ell} - U_{qq.a\ell-or} \right) = 0.5 (20 + 8 - 12) = 8\%, ;$$

$$x_7 = \frac{U_{qq.or}}{100} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} = 0, ;$$

$$\mathrm{U}_{\mathrm{qq.}or} = 0,$$

$$x_8 = x_0 l_4 (k_{t2})^2 = 0.08 \cdot 2.5 \left(\frac{220}{11} \right)^2 = 80\, Om, ;$$

$$x_9 = x_0 l_3 (k_{t2})^2 = 0.04 \cdot 30 \left(\frac{220}{38.5} \right)^2 = 392\, Om, ;$$

$$x_{10} = \frac{U_{qq}\%}{100} \frac{U_{nom4}^2}{S_{nom4}} (\mathrm{k}_{\mathrm{t2}})^2 = \frac{10.5}{100} \frac{35^2}{60} \left(\frac{220}{38.5} \right)^2 = 70\, Om, ;$$

$$x_{11} = \frac{x_R\%}{100} \frac{U_{nom}}{\sqrt{3} I_{nom}} (\mathrm{k}_{\mathrm{t4}} k_{t2})^2 = \frac{5}{100} \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 0.5} \left(\frac{35}{6.6} \frac{220}{38.5} \right)^2 = 318\, Om.$$

Generatorun EHQ-nin faz qiyməti

$$E_q^{//} = U_{nom} k_{t1} = 15.75 \frac{242}{\sqrt{3} \cdot 15.75} = \frac{242}{\sqrt{3}} = 139.8\, kV.$$

K1 nöqtəsində başlanğıc ifratkeçid cərəyanı, QQ nöqtəsinə qədər yekun müqavimət:

$$I_{K1}^{//} = \frac{E_q^{//}}{x_{1\Sigma}} = \frac{132.8}{175.3} = 0.79\, kA,$$

burada $x_{1\Sigma} = x_1 + x_2 + x_3 // x_4 + x_5 + x_7 = 175\, Om.$

K3 (38.5kV) pilləsinə gətirilmiş başlanğıc ifratkeçid cərəyan, (3.9) ifadəsinə əsasən::

$$\bar{I}_{K1}^{//} = I_{K1}^{//} \frac{1}{k_{t2}^{/}} = 0.79 \frac{220}{38.5} = 4.5\, kA,$$

$$I_{K2}^{//} = \frac{E_q^{//}}{x_{2\Sigma}} = \frac{139.8}{298.3} = 0.47\, kA,$$

burada $x_{2\Sigma} = x_1 + x_2 + x_3 // x_4 + x_5 + x_6 + x_8 = 298.3\, Om.$

K3 (11 kV) pilləsinə gətirilmiş başlanğıc ifratkeçid cərəyanı və , QQ nöqtəsinə qədər yekun müqavimət::

$$\bar{I}_{K2}^{//} = I_{K2}^{//} \frac{1}{k_{t2}^{/}} = 0.47 \frac{220}{11} = 9.4\, kA,$$

$$I_{K3}^{//} = \frac{E_q^{//}}{x_{3\Sigma}} = \frac{139.8}{955.3} = 0.146\, kA,$$

burada $x_{3\Sigma} = x_1 + x_2 + x_3 // x_4 + x_5 + x_7 + x_9 + x_{10} + x_{11} = 955.3\, Om.$

K3 (6.6 kV) pilləsinə gətirilmiş cərəyan:

$$\bar{I}''_{K3} = I''_{K3}\frac{1}{k'_{t4}} = 0.146\frac{220}{38.5}\frac{35}{6.6} = 4.4\,kA,$$

2. Adlı vahidlərdə təqribi gətirilmələr

Müəyyən olunmuş şkalaya müvafiq olaraq baxılan sxem üçün transformasiya pillələrinin orta nominal gərginliyi:

$$U_1 = 15.75\,kV,\ U_2 = 230\,kV,\ U_3 = 10.5\,kV,\ U_4 = 37\,kV,\ U_6 = 6.3\,kV.$$

230 kV pilləsinə gətirilmiş elelmentlər (generator, transformator, hava/kabel xətləri, reaktor) üçün müqavimətlərin növbəti qiymətlərini tapaq:

$$x_1 = 0.15\frac{230^2}{176.5} = 45\,Om, \qquad x_2 = \frac{12}{100}\frac{230^2}{180} = 35.4\,Om,$$

$$x_3 = x_4 = 0.4\cdot 110 = 45\,Om, \qquad x_5 = \frac{12}{100}\frac{230^2}{90} = 70.7\,Om,$$

$$x_6 = \frac{8}{100}\frac{230^2}{90} = 47.1\,Om, \qquad x_7 = 0,$$

$$x_8 = 0.08\cdot 2.5\left(\frac{230}{10.5}\right)^2 = 96\,Om, \qquad x_9 = 0.4\cdot 30\left(\frac{230}{37}\right)^2 = 463\,Om,$$

$$x_{10} = \frac{10.5}{100}\frac{37^2}{60}\left(\frac{230}{37}\right)^2 = 92.6\,Om,$$

$$x_{11} = \frac{5}{100}\frac{6}{\sqrt{3}\cdot 0.5}\left(\frac{230}{6.3}\right)^2 = 464\,Om.$$

Generatorun EHQ -nin faz qiyməti

$$E''_q = 15.75\frac{230}{\sqrt{3}\cdot 15.75} = 132.5\,kV.$$

K1 nöqtəsində başlanğıc ifratkeçid cərəyan

$$\bar{I}''_{K1} = \frac{132.5}{173.1} = 0.76\,kA,$$

burada $x_{\Sigma 1} = 45 + 35.4 + \dfrac{44}{2} + 70.7 = 173.1\,Om.$

K3 (37 kV) pilləsinə gətirilmiş cərəyan

$$\bar{\mathrm{I}}_{\mathrm{K1}}^{//} = 0.76\frac{230}{37} = 4.72\,kA,$$

K2 nöqtəsində

$$\bar{\mathrm{I}}_{\mathrm{K2}}^{//} = \frac{132.5}{316.2} = 0.42\,kA,$$

burada $x_{\Sigma 2} = 45 + 35.4 + \dfrac{44}{2} + 70.7 + 47.1 + 96 = 316.2\,Om.$

K3 (10.5 kV) pilləsinə gətirilmiş cərəyan

$$\bar{\mathrm{I}}_{\mathrm{K2}}^{//} = 0.42\frac{230}{10.5} = 9.18\,kA,$$

*K*3 nöqtəsində

$$\bar{\mathrm{I}}_{\mathrm{K3}}^{//} = \frac{132.5}{1192.7} = 0.11\,kA,$$

burada $x_{\Sigma 3} = 45 + 35.4 + \dfrac{44}{2} + 70.7 + 463 + 92.6 + 464 = 1192.7\,Om.$

K3 (6.3 kV) pilləsinə gətirilmiş cərəyan

$$\bar{\mathrm{I}}_{\mathrm{K3}}^{//} = 0.11\frac{230}{6.3} = 4.06\,kA,$$

3. Nisbi vahidlərdə dəqiq gətirilmələr

Bazis gücü kimi S_b =1000 MVA, bazis gərginliyi kimi isə U_{b1} = 220 kV qəbul edək. Digər pillələrdəki bazis gərginliklərini (3.5) ifadəsinə uyğun təyin edək:

$$\mathrm{U}_{\mathrm{b2}} = \frac{U_{b1}}{k_{t1}} = 220\frac{15.75}{242} = 14.3\,kV,$$

$$U_{b3} = \frac{U_{b1}}{k_{t2or}} = 220\frac{38.5}{220} = 38.5\,kV,$$

$$U_{b4} = \frac{U_{b1}}{k_{t2a\ell}} = 220\frac{11}{220} = 11\,kV,$$

$$U_{b5} = \frac{U_{b1}}{k_{t1}k_{t3}} = 220\frac{38.5}{220}\cdot\frac{6.6}{35} = 7.26\,kV,$$

K3 pilləsində bazis cərəyanı:

$$I_{b3} = \frac{S_b}{\sqrt{3}\cdot U_{b3}} = \frac{1000}{\sqrt{3}\cdot 385} = 15\,kA,$$

$$I_{b4} = \frac{S_b}{\sqrt{3}\cdot U_{b4}} = \frac{1000}{\sqrt{3}\cdot 11} = 52.5\,kA,$$

$$I_{b5} = \frac{S_b}{\sqrt{3}\cdot U_{b5}} = \frac{1000}{\sqrt{3}\cdot 7.26} = 79.5\,kA.$$

Əvəz sxeminin müqavimətlərin qəbul olunmuş bazis şərtlərinə uyğun nisbi qiymətləri:

$$x_1 = x_d^{//}\frac{S_b}{S_{nom}}\left(\frac{U_{nom}}{U_{b2}}\right)^2 = 0.15\frac{1000}{176.5}\left(\frac{15.75}{14.3}\right)^2 = 1.03,$$

$$x_2 = \frac{U_k\%}{100}\frac{S_b}{S_{nom}}\left(\frac{U_{a\ell}}{U_{b1}}\right)^2 = \frac{12}{100}\frac{1000}{180}\left(\frac{242}{220}\right)^2 = 0.81,$$

$$x_3 = x_4 = x_0 l_1\frac{S_b}{U_{b1}^2} = 0.4\cdot 110\frac{1000}{220^2} = 0.91,$$

$$x_5 = \frac{U_{Ky}\%}{100}\frac{S_b}{S_{nom}}\left(\frac{U_{nom}}{U_{b1}}\right)^2 = \frac{12}{100}\frac{1000}{90} = 1.33,$$

$$x_6 = \frac{U_{Ka\ell}\%}{100}\frac{S_b}{S_{nom}}\left(\frac{U_{nom}}{U_{b1}}\right)^2 = \frac{8}{100}\frac{1000}{180} = 0.89,$$

$$x_7 = 0, \quad x_8 = x_0 l_4 \frac{S_b}{U_{b4}^2} = 0.08 \cdot 2.5 \frac{1000}{11^2} = 1.65,$$

$$x_9 = x_0 l_3 \frac{S_b}{U_{b3}^2} = 0.4 \cdot 30 \frac{1000}{38.5^2} = 8.1,$$

$$x_{10} = \frac{U_K\%}{100}\frac{S_b}{S_{nom}}\left(\frac{U_{nom}}{U_{b3}}\right)^2 = \frac{10.5}{100}\frac{1000}{60}\left(\frac{35}{38.5}\right)^2 = 1.45,$$

$$x_{11} = \frac{x_R\%}{100}\frac{I_{b5}}{I_{nom}}\frac{U_{a\ell}}{U_{b5}} = \frac{5}{100}\frac{79.5}{0.5}\frac{6}{7.26} = 6.56.$$

EHQ -nin nisbi qiymәti,

$$E_q^{//} = \frac{15.75}{14.3} = 1.1.$$

*K*1 nöqtәsindә başlanğıc ifratkeçid cәrәyanı,

$$I_{K1}^{//} = \frac{E_q^{//}}{x_{\Sigma 1}} = \frac{1.1}{3.62} = 0.3,$$

burada $x_{\Sigma 1} = 1.03 + 0.81 + \frac{0.91}{2} + 1.33 = 3.62.$

Adlı vahidlәrdә QQ cәrәyanının qiymәti

$$I_{K1}^{//} = I_{K1}^{//} I_{b3} = 0.3 \cdot 15 = 4.5\,kA,$$

*K*2 nöqtәsindә

$$I_{K2}^{//} = \frac{E_q^{//}}{x_{\Sigma 2}} = \frac{1.1}{6.16} = 0.18,$$

burada $x_{\Sigma 2} = 1.03 + 0.81 + \frac{0.91}{2} + 1.33 + 0.89 + 1.65 = 6.16.$

Adlı vahidlərdə cərəyanın qiyməti

$$I_{K2}^{//} = I_{K2}^{//} I_{b4} = 0.18 \cdot 52.5 = 9.4\,kA,$$

*K*3 nöqtəsində

$$I_{K3}^{//} = \frac{E_q^{//}}{x_{\Sigma 3}} = \frac{1.1}{19.73} = 0.056,$$

burada $x_{\Sigma 3} = 1.03 + 0.81 + \frac{0.91}{2} + 1.33 + 8.1 + 1.45 + 6.56 = 19.73.$

Adlı vahidlərdə qısaqapanma (QQ) cərəyanının qiyməti

$$I_{K3}^{//} = I_{K3}^{//} I_{b5} = 0.056 \cdot 79.5 = 4.4\,kA.$$

4. Nisbi vahidlərdə təqrbi gətirilmələr

Təqribi gətirilmə zamanı hər bir pillədə bazis gərginliyi həmin pillənin orta nominal gərginliyinə bərabər olacaqdır:

$$U_{b1} = 230\,kV,\ U_{b2} = 15.75\,kV,\ U_{b3} = 37\,kV,\ U_{b4} = 10.5\,kV,\ U_{b6} = 6.3\,kV.$$

S_b = 1000 MVA zamanı QQ pillələrində bazis cərəyanları aşağıdakı kimi hesablanır (bazis cərəynlarının yalnız QQ pilləri üçün hesablanması məqsədəuyğun hesab olunur):

$$I_{b3} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 15.6\,kA,$$

$$I_{b4} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 55\,kA,$$

$$I_{b5} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 91.5\,kA.$$

Bu halda müqavimətlərin hesablanması xeyli sadələşir:

$$x_1 = x_d^{//} \frac{S_b}{S_{a\ell}} = 0.15 \frac{1000}{176.5} = 0.85, \qquad x_2 = \frac{12}{100} \frac{1000}{180} = 0.67,$$

$$x_3 = x_4 = 0.4 \cdot 110 \frac{1000}{2302} = 0.83, \qquad x_5 = \frac{12}{100} \frac{1000}{90} = 1.33,$$

$$x_6 = \frac{1}{100} \frac{1000}{90} = 0.9, \quad x_7 = 0, \qquad x_8 = 0.88 \cdot 2.5 \frac{1000}{10.5} = 1.82,$$

$$x_9 = 0.4 \cdot 30 \frac{1000}{37^2} = 8.8, \qquad x_{10} = \frac{10.5}{100} \frac{1000}{60} = 1.75,$$

$$x_{11} = \frac{5}{100} \frac{91.5}{0.5} \frac{6}{6.3} = 8.7.$$

EHQ-nin nisbi qiyməti

$$E_q^{//} = \frac{15.75}{15.75} = 1.$$

K1 nöqtəsində başlanğıc ifratkeçid cərəyan,

$$I_{K1}^{//} = \frac{1}{3.26} = 0.3.$$

burada $x_{\Sigma 1} = 0.85 + 0.67 + 0.415 + 1.33 = 3.26.$

Adlı vahidlərdə cərəyanın qiyməti,

$$I_{K1}^{//} = 0.3 \cdot 15.6 = 4.8\,kA,$$

K2 nöqtəsində,

$$I_{K2}^{//} = \frac{1}{5.97} = 0.167,$$

burada $x_{\Sigma 2} = 0.85 + 0.67 + 0.415 + 1.33 + 0.89 + 1.82 = 5.97,$

$$I_{K2}^{//} = 0.167 \cdot 55 = 9.2\,kA,$$

K3 nöqtəsində başlanğıc ifratkeçid cərəyan,

$$I''_{K3} = \frac{1}{22.5} = 0.044,$$

burada $x_{\Sigma 3} = 0.85 + 0.67 + 0.415 + 1.33 + 8.8 + 1.75 + 8.7 = 22.5,$

Adlı vahidlərdə cərəyanın qiyməti,

$$I''_{K3} = 0.044 \cdot 91.5 = 4.1kA,$$

Elektrik şəbəkəsinin parametrlərinin gətirilməsi zamanı QQ nöqtəsində adlı və nisbi vahidlərdə hesablanmış qısaqapanma cərəyanları (kA) növbəti cədvəldə sistemləşdirək :

Gətirmə	*K*1		*K*2		*K*3	
Dəqiq	4.50	4.50	9.40	9.40	4.40	4.40
Təqribi	4.72	4.80	9.12	9.20	4.06	4.1

Cədvəldən göründüyü kimi, müxtəlif hesablama sistemlərində əldə olumuş nəticələrin xətaları adətən 5-6%-dən çox olmur.

3.3. ƏVƏZ SXEMLƏRİNİN ÇEVRİLMƏSİ

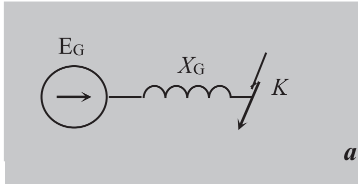
Əvəz sxeminin çevrilməsinin məqsədi onu sadə şəklə gətirməkdir (*şək. 3.3*).

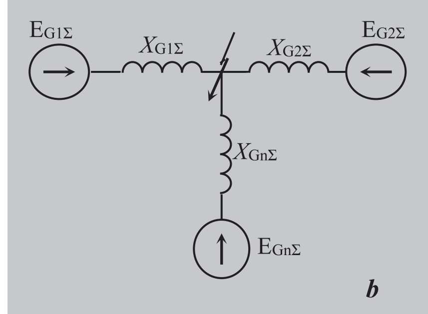
Yada salaq ki, sadə ekvivalent sxem dedikdə, bir tərəfindən EHQ tətbiq olunmuş bir ekvivalent müqavimət və digər tərfində sıfır potensiallı QQ nöqtəsindən ibarət əvəz sxemi başa düşülür (*şək. 3.3. a*).

Adi elektrik dövrələrinin hesablamalarında istifadə edilən çevirmələrə ekvivalent EHQ-nin tapılması, ardıcıl və paralel müqavimətlərin toplanmsı, üçbucaq birləşmənin ulduza və əksinə, çoxşüalı ulduzun tam çoxbucaqlıya çevrilməsi daxildir. Belə çevrilmələr üçün formullar *Əlavə 5*-də verilib.

Əgər əvəz sxeminin tərkibində parametrləri bir – birindən xeyli fərqlənən mənbələr olarsa, onda onlar elə qruplaşdırılır ki, hər bir qrupun tərkibində parametrləri bir–birinə yaxın mənbələr olsun.

Bu halda, istənilən əvəz sxeminin gətirildiyi sadə sxem *şək. 3.3*, *b*-də göstərilən şəkildə olar (*n* qrup mənbə nəzərdə tutulur). Qısaqapanmanın hesablanması üçün əvəz sxeminin çevrilməsi üzrə əlavə tövsiyələr [2, səh. 46 – 48]-də verilib.

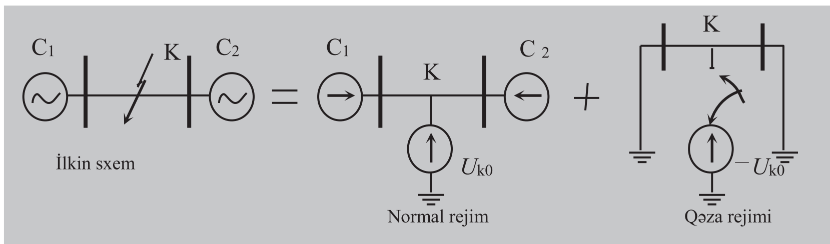




Şəkil 3.3. Bir (a) və n (b) – qrup mənbədən ibarət sistemin əvəz sxeminin çevilməsi

Qısaqapanmanın hesablanması zamanı istifadə olunan müxtəlif şəkilli toplama prinsipinə xüsusi diqqət etmək lazımdır [2]. QQ-nin hesablamalrını apararkən çox zaman qəza rejimi və ondan əvvəlki normal rejimin toplanmasından istifadə edirlər (*şək. 3.4*).

Burada QQ nöqtəsinə iki eyni, lakin istiqamətcə əks olan EHQ: $+U_{ko}$ və $-U_{ko}$ (bundan əvvəlki qısaqapanma rejimində *K* nöqtəsindəki gərginliklər) qoşulduğu zaman üçfazalı QQ-nin şərtləri dəyişməyəcəyi nəzərdə tutulur.



Şək. 3.4. Toplama prinsipi.

QQ rejimini iki yerə bölmək olar: normal və ya QQ-dən əvvəlki və passiv sxemdə ancaq bir EHQ – U_{ko} təsiri nəticəsində yaranan xüsusi qəza rejimi. Bu halda,

$$\mathbf{I} = \mathbf{I}_o + \mathbf{I}_{qəza}, \qquad \mathbf{U} = \mathbf{U}_o + \mathbf{U}_{qəza},$$

burada $\mathbf{U}_{qəza}$, $\mathbf{I}_{qəza}$ – QQ cərəyanının qəza mürəkkəbələridir.

Belə toplama yanaşması qəzadan əvvəlki rejim məlum olduğu halda məqsədəuyğun hesab olunur.

YOXLAMA SUALLARI

3. Prinsipial və hesabat əvəz sxemləri nə deməkdir?
4. Nisbi vahidlər sisteminin əsas üstünlükləri hansılardır?
5. Sxemin parametrlərinin dəqiq və təqribi gətirilmələri nə deməkdir?
6. Bazis gərginliyində transformasiya əmsalının daxil edilməsinin üstünlükləri hansılardır?
7. Müxtəlif növ keçid proseslərinin hesabatında sxemin əsas elementlərinin hansı əvəz sxemləri mövcuddur?
8. Keçid proseslərinin hesablanmasında istifadə olunan sadələşdirilmələri sadalayın və hər bir sadələşdirmənin hesabatın dəqiqliyinə təsirini izah edin.

IV F Ə S İ L

ELEKTRİK ŞƏBƏKƏSİNDƏ ÜÇFAZALI QQ

Keçid proseslərində sistemin rejim parametrləri həm kəmiyyət, həm də keyiffiyyətcə dəyişmələrə məruz qalır.

Üşfazlı QQ zamanı cərəyanının zamana görə dəyişmə xarakterini aydınlaşdırmaq üçün elementar dövrəyə baxaq. Yada salaq ki, transformasiya əlaqəsi olmayan bir nöqtəyə gətitilmiş aktiv və induktiv müqavimətlə təsvir olunan simmetrik üçfazlı dövrə elementar dövrə adlanır.

Üçfazalı QQ zamanı elektromaqnit keçid prosesinin xarakteri QQ nöqtəsinin qidalandırma mənbəyinin hansı məsafədə olmasından asılıdır. Əvvəlcə qısaqapanma nöqtəsinin stansiyadan və sistemdən uzaqda olması variantına baxaq. *Şək. 3.2*-də verilmiş elektrik sisteminin sxemində belə bir nöqtə *K3*-dür. Qısaqapanmanın baş verdiyi 35 kV-luq xətt sistemdən və stansiyanın generatorlarından transformasiyanın ikinci pilləsində yerləşir. Bu xətt, elektriki cəhətdən qidalanma mənbəyindən uzaqda yerləşdiyinə görə, xətdə və ondan sonrakı elementlərdə baş verən bütün qəzalar, sistemin generatorlarının işinə demək olar ki, təsir etmir. Bu şərait sistemin yüksək transformasiya pilləsində (*şək. 3.2*-dəki sxemdə 220 kV) gərginliyin dəyişməz olmasını qəbul etməyə imkan verir. T–2 transformatorunun yüksək gərginlik şini *d ə y i ş m ə z   g ə r g i n l*

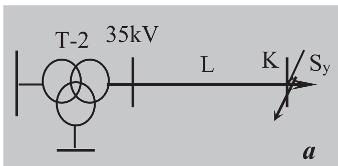
i k l i ş i n və ya 35 kV ondan aşağı gərginlikli şəbəkələr üçün *s o n s u z g ü c ş i n i* (SGŞ) adlanır.

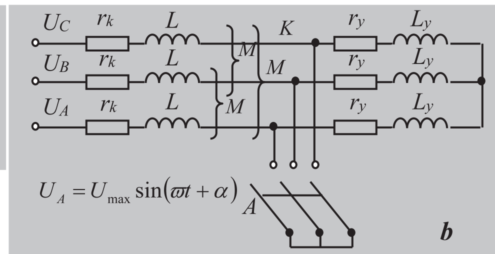
Qeyd edək ki, həssas və cəldtəsirli təsirlənmənin avtomatik tənzimliyəcilərinin (TAT) tətbiqi yuxarıda qeyd olunan sonsuz güc şinini əsaslandırır.

Keçid prosesslərini ilk növbədə elementar və sonsuz güc şininə mailk dövrələr üçün baxaq.

4.1. SABİT GƏRGİNLİKLİ ŞİNDƏN QİDALANAN ELEMENTAR DÖVRƏDƏ ÜÇFAZLI QISAQAPANMA

Sabit gərginlikli şin (gərginliyi dəyişməyən şin) anlayışının elektrik sistemi sxeminə daxil edildiyini nəzərə alaraq *şək. 3.2*-də göstərilən elektrik sisteminin sxemini kifayət qədər sadələşdirərək *şək. 4.1*, *a*-da təsvir olunan (*A6* açarının açılmış vəziyyətində) şəkildə göstərmək olar. Belə sadə sistemin əvəz sxemi üçxətli icrada *şək. 4.1*, *b*-də göstərilib.





Şək. 4.1. Elementar sistemin prinsipial (a) və onun əvəz sxemləri (b)

Bilavasitə açarın qapanması ilə baş verən üçfazalı QQ zamanı keçid prosesinə baxaq. Qısaqapanmadan əvvəlki rejimin cərəyanı *A* fazı üzrə aşağıdakı kimi təyin oluna bilər:

$$i_A = \frac{U_{A\max}}{Z_\Sigma}\sin(\omega t + \alpha - \varphi), \tag{4.1}$$

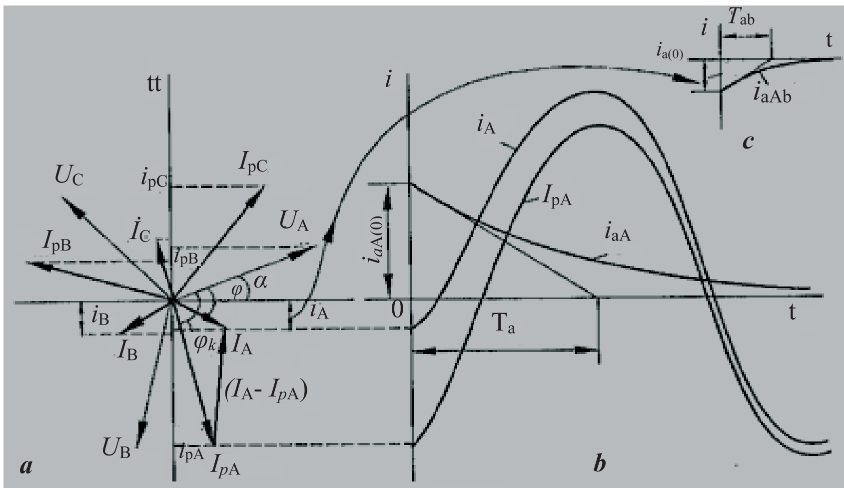
burada $\mathbf{Z}_{\Sigma} = \mathbf{Z}_{T\text{-}X} + \mathbf{Z}_{Y}$ – normal rejimdə sxemin yekun müqavimətidir;

ω – fırlanmanın bucaq surəti;

φ – yekun kompleks müqavimət $\mathbf{Z}_{\Sigma}$ -in arqumentidir;

α – gərginliyin qoşulma fazıdır.

Beləliklə, $\mathbf{U}_A$, $\mathbf{U}_B$, $\mathbf{U}_C$, $\mathbf{I}_A$, $\mathbf{I}_B$, $\mathbf{I}_C$ vektorları *(şək. 4.2)* baxılan sxemin QQ-dan əvvəlki normal rejiminin rejimində gərginliklərin və cərəyanların amplitud qiymətinin vektorlarıdır. Əgər *tt* şaquli xətti tərpənməz zaman oxudursa və nəzərə alsaq ki, istənilən sinusoidal kəmiyyəti fırlanan vektorla təsvir etmək olar, onda gərginlik və cərəyan vektorlarının bu xəttə proyeksiyası onların ani qiymətlərini müəyyən edəcək. Üfüqi oxla $\mathbf{U}_A$ vektoru arasındakı α bucağı QQ-nin (başvermə) *qoşulma fazı* adlanır və t=0 anı üçün $\mathbf{U}_A$ gərginlik vektorunun vəziyyətini müəyyən edir. $\mathbf{I}_A$ vektoru $\mathbf{U}_A$ gərginlik vektoru ilə *φ* bucağı lə əlqəlidir.



Şəkil 4.2. Elementar sistemin üçfazlı QQ-nın başlnğıc anı üçün vektor diaqramı (a) və sxemin sol və sağ hissəsində cərəyanların dəyişməsi (b, c).

A açarı qoşulduqdan sonra QQ nöqtəsi ilə sxem iki asılı olmayan hissəyə bölünür: sağ və sol. Sxemin sağ tərəfi QQ ilə şutlanmış və xarici qidalanmadan məhrum olur və burada cərəyan o

vaxta qədər mövcud olacaqdır ki, L_Y induktivliyində yığılmış enerji r_Y müqavimətində istiliyə çevrilmiş olsun. Bu sahənin hər bir fazında tarazlığın (müvazinətin) diferensial tənliyi aşağıdakı şəkildə olacaq:

$$ir_Y + L_Y \frac{di}{dt} = 0.$$

Bu tənliyin cərəyanan nəzərən həlli məlumdur:

$$i = i_0 e^{-\frac{1}{T_{a.Y}}},$$

Burada, $i_{\alpha(0)}$ - cərəyanın aperiodik mürəkkəbəsininin başlanğıc qiyməti,

$T_{a.Y}$ - sərbəst (aperiodik) cərəyanın sönməsinin zaman sabitidir.

Bu ifadədən aydın görsənir ki, sxemin bu hissəsində yalnız ekponent üzrə aşağıda verilən formul ilə təyin olunan zaman sabiti ilə sönən sərbəst (aperiodik) cərəyan mövcuddur:

$$T_{a.y} = \frac{L_y}{r_y} = \frac{x_y}{\omega r_y}. \qquad (4.2)$$

Bunula yanaşı sağ tərəfdəki hər bir fazın sərbəst cərəyanının başlanğıc qiyməti QQ-dən əvvəlki cərəyanın ani qiymətinə bərabərdir, çünki cərəyanın induktiv müqavimətdə sıçrayışla dəyişməsi baş verə bilməz (*şək. 4.2*, *c*). Bu hissədə cərəyan induktivlikdə toplanmış maqnit selinin enerjisinin aktiv müqavimətdə istiliyə çevrilmə anına qədər mövcud olacaq. Ümumiyyətlə fazlar üzrə sərbəst cərəyanlar müxtəlif olmaqla (fazlararası sürüşmə bucağı ilə müəyyən olunur) onların sönməsi eyni zaman sabiti ilə baş verir.

Dövrənin mənbəyə qoşulu olan sol hissəsinə baxaq. Sxemin sol tərəfində sərbəst (aperiodik) cərəyandan əlavə yeni məcburi (periodik) cərəyan yaranır və baxılan sistemin yekun müqavimətinin azalması səbəbindən bu cərəyanın qiyməti QQ-dən əvvəlki

cərəyandan çox olacaq. Qəbul edək ki, $\mathbf{I}_{pA}$,$\mathbf{I}_{pB}$ və $\mathbf{I}_{pC}$ vektorları yeni qərarlaşmış qiymətə (*şəkil 4.2. a*) cavab verirlər. Bu hissənin istənilən, o cümlədən *A* fazı üçün tarazlığın diferensial tənliyi aşağıdakı şəkildə olacaq:

$$U_A = L\frac{di_A}{dt} + M\frac{di_B}{dt} + M\frac{di_C}{dt} + r_k i_k. \qquad (4.3)$$

Simmetrik rejimdə $i_A = -(i_B + i_C)$ olduğunu nəzərə alaraq, (4.3) ifadəsini başqa formada hər bir faz üçün növbəti (məsələn *A* fazı üçün) şəkildə göstərmək olar:

$$U_A = ir_K + L_K\frac{di_A}{dt} \quad . \qquad (4.4)$$

Burada $L_k = L - M$ digər iki fazın qarşılıqlı induksiyası nəzərə alınmaqla fazın yekun induktivliyidir.

(4.4) bərabərliyi digər fazlar üçün də doğrudur və onun (*A* indeksini buraxırıq) həlli aşağıdakı şəkildədir:

$$i = i_p + i_a = \frac{U_{max}}{Z_{\Sigma K}}\sin(\omega t + \alpha - \phi_k) + i_{a(0)}e^{-\frac{t}{T_a}} \qquad (4.5)$$

burada $Z_{\Sigma K}$ – dövrənin qısaqapanmış hissəsinin tam müqavimətidir,

φ_k , α – müvafiq olaraq dövrədə cərəyanın sürüşmə bucağı və QQ - nin qoşulma bucağı;

T_α – qısaqapanmış dövrənin zaman sabitidir.

Zaman sabiti T_a (san.) ədədi qiymətcə aperiodik cərəyanın *e=2,718* dəfə sönməsinə və ya onun öz başlanğıc qiymətindən e^{-1}=0,368-ə qədər azalmasına sərf olunan müddətdir. Yada salaq ki, eksponentin istənilən nöqtəsinə toxunan (adətən eksponentin daha surətlə dəyişən başlanğıc hissəsini istifadə edirlər) qəbul olunmuş zaman oxunun miqyasına uyğun olaraq zaman sabitinin qiymətini təyin etmək olar. QQ cərəyanının aperiodik mürəkkəbəsi tam cərəyan əyrisininin əyrixətli simmetriya oxudur.

(4.5) ifadəsinin birinci toplananı *cərəyanın periodik (məcburi)* (i_p) mürəkəbəsi, ikinci toplanan isə *aperiodik (sərbəst)* (i_a)

mürəkkəbəsidir. Sərbəst mürəkkəbənin başlanğıc qiyməti QQ-nin başlanğıc şərtləri ilə təyin edilir: bundan əvvəlki rejimin cərəyanı (i_0) periodik və aperiodik mürəkkəbələrin başlanğıc ani cərəyanlarının qiymətinin cəminə bərabərdir, yəni

$$i_0 = i_{p(0)} + i_{a(0)},$$

(4.1) və (4.5) ifadələrindən istifadə edərək, buradan cərəyanın aperiodik mürəkkəbəsininin başlanğıc qiymətini, $i_{\alpha(0)}$ -nı təyin etmək olar:

$$i_{a(0)} = i_0 - i_{p0} = I_{\max} \sin(\alpha - \phi) - I_{p\max} \sin(\alpha - \phi_k), \qquad (4.6)$$

burada $I_{\max} = \dfrac{U_{\max}}{Z_\Sigma}; \quad I_{p\max} = \dfrac{U_{\max}}{Z_{\Sigma K}}.$

Yəni, aperiodik mürəkkəbəsininin başlanğıc qiyməti, periodik cərəyanların QQ-dən əvvəl və sonrakı ani qiymətlərinin fərqi ilə təyin olunur.

(4.6) ifadəsini (4.5)-də yerinə yazsaq QQ-nın tam cərəyanının dəyişmə qanununu asanlıqla əldə edə bilərik.

Vektor diaqramından (*şək. 4.2*, *a*) göründüyü) kimi, yeni rejimin i_{PA}, i_{PB}, i_{PC}, həmçinin normal rejimin i_A, i_B, i_C cərəyanları $\mathbf{I}_{PA}$, $\mathbf{I}_{PB}$, $\mathbf{I}_{PC}$, $\mathbf{I}_A$, $\mathbf{I}_B$, $\mathbf{I}_C$ vektorlarının uyğun olaraq *tt* şaquli zaman oxuna olan proyeksiyalarıdır və yeni rejimin vektorları fərqli arqumentlə, φ_k ilə xrakterizə olunur. Bu səbəbdən, hər bir fazda cərəyanın sərbəst aperiodik mürəkkəbəsinin başlanğıc qiymətini ($\mathbf{I}_{\max}$ – $\mathbf{I}_{p\max}$) vektorlarınıın *tt* zaman oxuna proyeksiyası kimi təyin etmək olar (*şək.4.2*-də yalnız *A* fazı üçün göstərilib). Əgər ($\mathbf{I}_{\max}$ – $\mathbf{I}_{p\max}$) vektoru *tt* oxuna paralel olarsa, istənilən fazın sərbəst cərəyanı çox böyük, yaxud bu vektor oxa perpendikulyar olarsa cərəyan sıfıra bərabər ola bilər. Başqa sözlə, α qoşulma fazından asılı olaraq $i_{a(0)}$-nin başlanğıc qiyməti ən böyük qiymətindən sıfıra qədər dəyişir.

Şək. 4.2, *b*-də *A* fazasında QQ cərəyanın dəyişmə əyrisi və zaman üzrə onun mürəkkəbələri göstərilmişdir. Buradan görünür ki, cərəyanın aperiodik mürəkkəbəsinin başlanğıc qiyməti nə qədər

böyük olarsa, zaman oxuna nisbətən tam cərəyanın əyrisi bir o qədər sürüşmüş olar və QQ-nin maksimal cərəyanı da bir o qədər çox olar. (4.6) ifadəsindən göründüyü kimi, aperiodik mürəkkəbənin ən böyük başlanğıc qiyməti QQ-nin qoşulma fazası α-nın və QQ-dən əvvəlki rejimin cərəyanının amplitud qiyməti I_{max} ilə təyin olunur. $I_{max} = 0$ (bundan əvvəlki rejimdə yüksüz işləmə) və $\alpha = 0$ (*A* fazasının gərginlik vektoru sıfırdan keçir) zamanı əgər QQ anında $i_{\alpha(0)}$, toplananının *tt* oxuna proyeksiyası maksimuma çatarsa, onda $i_{\alpha(0)}$-nın qiyməti periodik müərəkkəbənin amplitud qiymətinə çatacaq. Qeyd olunmalıdır ki, qısaqapanma dövrəsində aktiv müqavimətin qiyməti həddən artıq kiçik olduğuna görə müqavvimətin arqumenti Z_K (φ_K) ≈ 90° səviyyəsindədir (aperiodik mürəkkəbənin yaranması və şərti ilə tam cərəyanın ani qiyməti və yaranma şərtləri ilə demək olar ki, eynidir). Bu səbədən, praktiki hesabatlarda QQ-nin tam cərəyanının maksimum ani qiymətini aperiodik mürəkkəbənin ən böyük qiymətində tapırlar, hesab olunur ki, QQ-nın ən böyük qiyməti təqribən yarım perioddan (*T/2 = (1/f₀)/2 = 0,01san.*) sonra, yəni 50 Hs tezlikdə QQ-nın yaranmasından 0,01 saniyə sonra baş verir. Bu ən böyük qiymət *QQ-nın zərbə cərəyanı* adlanır.Onun təyin edilmə şərtləri aşağıda verilir (*şək. 4.3*):

$$\alpha = 0, \quad i_{a(0)} = I_{p\max}, \quad I_{\max} = 0.$$

Bu şərtlər nəzərə alınmaqla QQ-nın zərbə cərəyanı üçün ifadəni növbəti formada yazmaq olar:

$$i_Z = I_{p\max} + I_{p\max} e^{-\frac{0.01}{T_a}} = K_z I_{p\max} = \sqrt{2} I_p K_z \qquad (4.7)$$

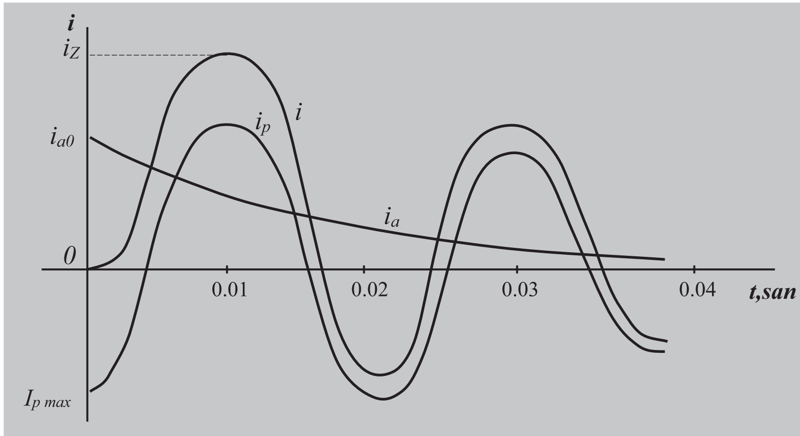
burada $K_Z = 1 + e^{-0.01/T}$ – *zərbə əmsalı* – zərbə cərəyanının periodik mürəkkəbənin amplitudundan artımını göstərir;

I_p – QQ-nin başlanğıc anında cərəyanın periodik mürəkkəbəsinin təsiredici qiymətidir.

Sadə sxemlər üzrə zərbə cərəyanı növbəti hədlərdə dəyişir:

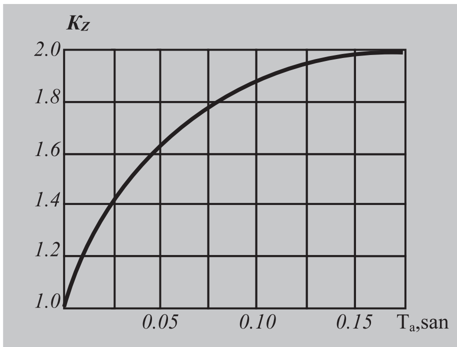
1. $L(x) = 0, \quad T_a \to 0, \quad K_Z = 1 + e^{-0,01/\ 0} \approx 1.$

$$2.\ L(x)=\infty, \quad T_a \to \infty, \quad K_Z = 1+e^{-0,01/\infty} \approx 2.$$



Şəkil 4.3. Zərbə cərəyanının təyin olunması

Zərbə əmsalının zaman sabiti T_α-dan asılılığı *şək. 4.4* -də göstərilib. Zaman sabiti T_α -nın sərhəd qiymətləri (*r=0*, $\infty > T_\alpha > 0$, *L=0* halında) çərçivəsində dəyişməsi zamanı zərbə əmsalı K_Z, $2 > K_Z > 1$ həddində dəyişir (statik kondensator batereyalarının çıxışında QQ zamanı zərbə əmsalı 2-dən artıq ola bilər). T_α nə qədər kiçik olarsa (dövrənin aktiv müqaviməti nə qədər böyük olarsa) aperiodik mürəkkəbə o qədər tez sönür və zərbə əmsalı da bir o qədər kiçik olur. Zərbə əmsalı zərbə cərəyanının qəza cərəyanının periodik mürəkkəbəsinin amplitud qiymətindən neçə dəfə böyük olmasını göstərir və tam cərəyanda QQ cərəyanının aperiodik mürəkkəbəsini nəzərə alır. Zərbə cərəyanı yalnız bir fazda baş verir. Bu mürəkkəbənin təsiri yalnız keçid prosesinin başlanğıc mərhələsində mövcud olur.Yüksək gərginlikli (35kV və ondan yüksək) şəbəkələrdə aperiodik mürəkkəbə 0,1÷0,3 saniyədən sonra yox olur. Bu aşağı gərginlik şəbəkələrində isə hiss edilmir.



Qeyd etmək yerinə düşər ki, cərəyanın aperiodik mürəkkəbəsinin qiymәti fazlar üzrə fərqlənirlər.

Şəkil 4.4. Zərbə əmsalının T_a zaman şəbəkələrdə sabitindən asılılığı

Bu səbəbdən, üç fazlı simmetrik QQ-nın təyin olunması yalnız faz cərəyanlarının periodik mürəkkəbələri üzrə təyin oluna bilər.

Qısaqapanmanın zərbə cərəyanına görə elektrotexniki avadanlıqların elektrodinamik (mexaniki) təsirlərə dözümlüyü yoxlanılır.

4.2. TAM CƏRƏYANIN ƏN BÖYÜK TƏSİREDİCİ QİYMƏTİ

Nəzəri elektrotexnikadan məlumdur ki, dəyişən cərəyanın təsiedici qiyməti kəmiyyətcə *T* perodu ərzində sinusoidal cərəyanın müqvimətdə ayırdığı istiliyə bərabər səviyyədə istilik yaradan sbit cərəyana bərabərdir. Yəni, onun qiymətinin təyin olunması dəyişən və sabit cərəyanın istilik effektlərinin bərabərliyi şərti ilə müəyyən olunur.

İlk növbədə növbəti tərifin şərti olduğunu qeyd etmək lazımdır. *Cərəyanın təsiredici qiyməti* – zamanın istənilən anında cərəyanın bir periodu (*T*) ərzindəki orta kvadratik qiymətinə deyilir və bu baxılan *t* zaman anı periodun ortasında yerləşir. Yəni,

$$I_z = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t-T/2}^{t+T/2} i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t-T/2}^{t+T/2} I_{\max}^2 \sin^2(\omega t + \alpha) dt} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}},$$

burada, I_{max} – dəyişən cərəyanını amplitud qiyməti,

ψ – başlanğız faz.

Bunları nəzərə alaraq qeyd edək ki, QQ tam cərəyanın *i=f(t)* asılılığı kifayyət qədər mürəkkəb və keçid prosesi ərzində dəyişdiyinə görə cərəyanın təsiredici qiyməti də dəyişməyə məruz qalır. Bu baxımdan cərəyanın təsiredici qiymətinin hesablanmasını sadələşdirmək üçün cərəyanın hər iki mürəkkəbəsinin baxılan zaman ərzində dəyişməz qalması, yəni, onların amplitudlarının sabit qalması qəbul olunur.

Bir qayda olaraq, qısaqapanmanın tam cərəyanının *ən böyük təsiredici qiyməti* I_z keçid prosesinin birinci periodu (t = 0.01 san) ərzində mövcud olur və aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$I_z = \sqrt{I_p^2 + I_a^2} = \sqrt{I_p^2 + (I_p\sqrt{2}e^{-0.01/T_a})^2} = I_p\sqrt{1 + 2e^{-0.01/T_a}}, \quad (4.8)$$

burada $I_p = I_{p\max}/\sqrt{2}$ – baxılan t zaman anında QQ cərəyanının periodik mürəkkəbəsinin təsiredici qiymətidir və *şək. 4-7*-də verilmiş qırıq xətlərlə çəkilmiş əyrilər vasitəsi ilə təyin olunur;

I_a - QQ cərəyanının aperiodik mürəkkəbəsnin təsiredici qiyməti, qəbul olunmuş şərtlər daxilində bir period ərzində onun cari periodunun ortasında yerləşən ani qiymətinə bərabərdir:

$$I_a = i_a .$$

(4.8) ifadəsindən göründüyü kimi, I_z/I_p nisbəti $\sqrt{3} > I_z / I_p > 1$ həddində yerləşir və T_α -nın *0*-dan ∞-a qədər dəyişməsilə təyin olunur. Qeyd olunan ifadə ilə tam cərəyanın təsiedici qiymətinin dəqiqilik dərəcəsi tamamilə praktiki tələblərə cavab verir.

Qısaqapanma cərəyanının təsiredici və ən böyük təsiredici qiymətinə görə elektrotexniki avadanlıqların termik təsirlərə davamlığı yoxlanılır.

4.3. EKVİVALENT ZAMAN SABİTİ

Ardıcıl qoşulu elementlərdən ibarət olan dövrələrdə QQ dövrəsinin zaman sabitinin təyin olunması çətinliklə üzləşmir və (4.2) ifadəsinə görə təyin olunur. Bu halda *x* və *r* qismində uyğun olaraq bütün qısaqapanmış dövrənin induktiv və aktiv müqaviməti kimi, qəbul olunur (4.1. paraqrafına bax).

Mürəkkəb şaxələnmiş şəbəkə sxemləri üzrə zaman sabitinin təyin olunması böyük həcmdə hesablamalar tələb edir və mürəkkəb məslələ hesab olunur. Bu səbəbdən onun təyin olunması fərqli yanaşma tələb edir.

Bu halda, cərəyanın aperiodik (sərbəst) mürəkkəbəsinin təyin olunması üçün nəzəri elektrotexnikanın əsasları dərsliyindən məlum olduğu kimi, Laplas çevirmələrini (operator metodu ilə) tətbiq etməklə həlli daha effektiv hesab olunur.

Eyni zamanda, qeyd edək ki, hətta, nisbətən çox da mürəkkəb olmayan sxemlər üçün zaman sabitinin təyin olunması üçün belə üsul çətinliklərlə müşahidə olunur. Qeyd etmək kifayyətdir ki, hər bir paralele *r* və *L* budağı xarakteristik bərabərliyininin tərtibini bir ölçü qaldırır. Bu səbədən, praktik hesablamalarda şaxələnmiş şəbəkədə təqribi həllərdən istifadə olunur. Qəbul olunur ki, QQ cərəyanının sadə və təqribi ifadə ilə təyin olunan $I_a = I_{a(0)} e^{-\frac{t}{T_{a.ekv}}}$ aperiodik mürəkkəbəsi zamana görə aşağıdakı ifadə ilə təyin olunan $T_{a.\ ekv}$ zaman sabiti ilə bir eksponent üzrə sönür:

$$T_{a.ekv} = \frac{x_{\Sigma\ (r=0)}}{\omega\, r_{\Sigma\,(x=0)}}, \qquad (4.9)$$

burada $x_{\Sigma\ (r=0)}$ və $r_{\Sigma\,(x=0)}$ – qidalanma mənbəyi ilə QQ nöqtəsi arasında olan yekun müqavimətlərdir və əvəz sxeminə hər bir elementin özünün ya aktiv, ya da reaktiv müqavimətləri ilə daxil edildiyi nəzərdə tutularaq hesablanır [2]. Bu halda həqiqi və qəbul olunmuş şərtlərə uyğun elektrik miqdarı üzrə təqribi ekvivalenlik qorunur.

Ekvivalent zaman sabitinin belə qiymətləndirilməsi elektrotexnikanın nəzəri əsaslarının qanunlarına ziddir və praktiki nöqteyi nəzərdən qəbul edilən sadələşdirmədir.

Sərbəst cərəyanın başlanğıc qiymətinə gəldikdə, qeyd edək ki,o, verilmiş dövrənin ilkin şərtlərinə görə təyin olunur, adətən, əvvəlki cərəyan isə məlumdur.

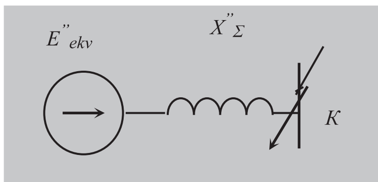
Şaxələnmiş şəbəkədə QQ-nin zərbə cərəyanının hesablanma üsulu QQ nöqtəsinin qidalandırma mənbəyindən nə qədər uzaqda yerləşməsi ilə təyin olunur.

Hesablamanın iki variantı mümkündür:

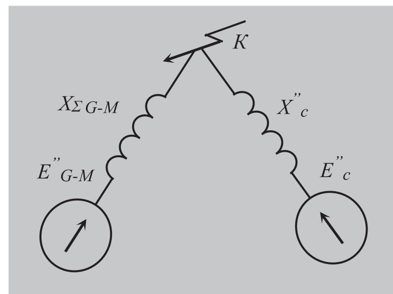
1. Əgər QQ nöqtəsi qidalandırma mənbəyndən xeyli uzaqdadırsa, onda hesablama sxemi sadə şəkilə çevriləcək (*şək. 4.5*). Bu halda ekvivalent zaman sabiti (4.9) formulu ilə qiymətləndirilir və zərbə cərəyanı aşağıdakı kimi hesablanır:

$$i_z = I_{\max} + I_{p\max} e^{-\frac{0.01}{T_{a.ekv}}} = \frac{E^n_{ekv}\sqrt{2}}{x^n_\Sigma}\left(1 + e^{-\frac{0.01}{T_{a.ekv}}}\right),$$

burada, $E^{//}_{ekv}$ – ekvivalent EHQ-nin təsiredici qiymətidir.



Şəkil 4.5. Ekvivalent əvəz sxemi



Şəkil 4.6. Generatora yaxın QQ zamanı ekvivalent əvəz sxemi

2. Əgər QQ nöqtəsi generatora və ya böyük mühərrikə yaxın yerdə yerləşirsə, onda i_z -nin hesabatı üçün əvəz sxemi elə çevrilməlidir ki, yuxarıda qeyd olunan generatorlar və mühərriklər ayrı budaqda birləşdirilsinlər (*şək. 4.6*). Bu budağın EHQ-ni $E^{//}_{G\text{-}M}$ ilə işarə edək. Yerdə qalan enerji

mənbələrini ayrı bir budaqla birləşdirirlər. $E^{//}_C$ və $X^{//}_C$. K nöqtəsində zərbə cərəyanı hər bir budaqdan olan zərbə cərəyanlarının cəmi formulu ilə hesablanır,

$$i_z = \sqrt{2}\left(K_{z.G-M} I_{G-M} + K_{z.C} I_C\right),$$

burada, $I_{G\text{-}M}$ və I_C – hər bir budaqdakı QQ cərəyanının periodik toplananının təsiredici qiymətidir;

$$K_{zG-M} = 1 + e^{\frac{0.01}{T_{a\,G-M}}}; \qquad K_{z.c} = 1 + e^{\frac{0.01}{T_{a.c}}};$$

burada $T_{z.G\text{-}M}$ və $T_{z.c}$ – hər bir budaqdakı QQ cərəyanının aperiodik mürəkkəbələrinin sönməsinin ekvivalent zaman sabitidir. Ekvivalent sxemin elementlərinin aktiv müqavimətinin qiymətləndirilməsi texniki ola bilər. Əsas elementlərin *x/r*-nin təqribi nisbətləri [*2, cədvəl 6.2*]-də verilib.

Təqribi hesablamalarda adətən $T_{a.ekv.c}$ zaman sabitinin hesablanmasına zəruriət yaranmır və hesblamanının şərtlərinə uyğun olaraq, zərbə əmsalına görə müəyyən orta qiyməti qəbul olunur. Məsələn $K_z=1,8$ olarsa, sxemin bütün budaqları uçun $T_{a.ekv}=0,045$ san. təşkil edəcəkdir.

M ə s ə l ə 4.1.

İlkin verilənlər:

Alçaldıcı transformator T: 63 MVA, 150/38.5/11 kV, $U_{y.o}$ = 12.4 %, $U_{y.a}$ = 17.6 %, $U_{o.a}$ = 5.2%, $P_{K\ y.o}$ = 380 kVt, $R_{K\ y.a}$ = 460 kVt, $R_{K\ o.a}$ = 300 kVt, sistemin xətt gərginliyi praktiki olaraq dəyişməz və 158kV–a bərabər olan qovşağına qoşulmuşdur.

Transformatorun orta gərginliyinə AC – 120 markalı (x = 0.4 Om/km və r = 0.27 Om/km) məftil də yerinə yetirilmiş L1 xətti birləşdirilmişdir. Alçaq gərginlik tərəfinə АСБ – 3x120 (x=0.081 Om/km, və r = 0.258 Om/km) markalı kabel birləşdirilmişdir.

Təyin etməli:

Transformatordan 5 km aralıda hava xəttində üçfazalı qısaqapanma (*K* nöqtəsi) baş vermişdir. Bu qısaqapanma nəticəsində yaranan zərbə

cərəyanını və K_2 nöqtəsində qısaqapanma zamanı aperiodik merəkkəbəninin sönmə zaman sabiti T_a –nın K_2 və K_1 nöqtələrində bərabərliyi şərtini təmin etmək üçün kabelin uzunluğunu təyin edin.

H ə l l i :

Bütün kəmiyyətləri transformatorun nominal qiymətlərinə gətirilmiş əvəz sxemini tərtib edək.

Transformatorun dolaqlarının induktiv və aktiv müqavimətləri

$$x_y = 0.5(0.124 + 0.176 - 0.052) = 0.124,$$

$$x_{or} = 0.124 - 0.124 = 0,$$

$$x_{a\ell} = 0.176 - 0.124 = 0.052,$$

$$r_y = 0.5\frac{(380 + 460 - 300)}{1000 \cdot 63} = 0.0044,$$

$$r_{or} = 0.0018, \qquad r_{a\ell} = 0.003.$$

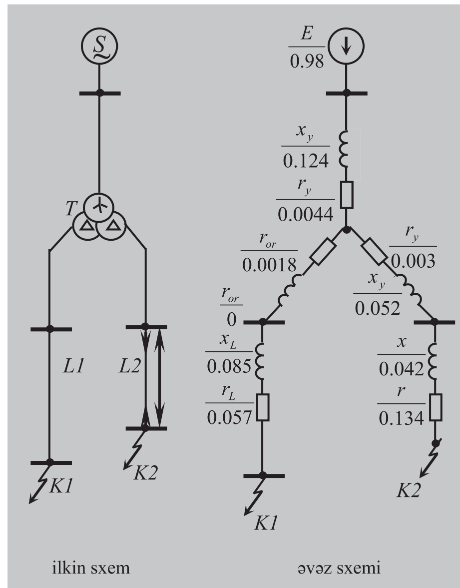
Xətt üçün

$$x_L = 0.4 \cdot 5\frac{63}{38.5^2} = 0.085,$$

$$r_L = 0.085\frac{0.27}{0.4} = 0.057.$$

Kabel xətti üçün

$$x = 0.081\frac{63}{11^2} = 0.042, \quad r = 0.134,$$



K1 nöqtəsində qısaqapanma zamanı yekun müqavimətlər

$$x_\Sigma = 0.124 + 0.085 = 0.209,$$

$$r_\Sigma = 0.0044 + 0.0018 + 0.057 = 0.0637,$$

onların nisbəti

$$x/r = 0.209/0.0637 = 3.28$$

və $\quad z_\Sigma = 6.37 + j20.9 = 0.219\, e^{j73^o}.$

Qısaqapanma cərəyanının periodik mürəkkəbəsinin modulu

$$I_p = \frac{0.98}{0.219} = 4.5,$$

burada nisbi EHQ

$$E = \frac{148}{150} = 0.98,$$

Aperiodik mürəkkəbəsinin sönməsinin zaman sabiti

$$T_a = \frac{3.28}{314} = 0.0104\,san.$$

Aperiodik müərkkəbənin ən böyük nisbi qiyməti zamanı yaranan qısaqapanma cərəyanının maksimal ani qiyməti həmin fazanın gərginliyinin sıfırdan keçdiyi zaman olacaq, yəni cərəyanın mürəkkəbəsinin nisbi vahidlərdə bu qiyməti aşağıdakına bərabər olacaq.

$$I_{a(0)} = 4.5\sin 73^0 = 4.5 \cdot 0.96 = 4.32.$$

Cərəyanın maksimal ani qiyməti

$$\frac{0+73}{180}0.01 = 0.00\,san$$

sonra yaranacaq və aşağıdakına bərabər olacaq

$$i_z = \sqrt{2}\frac{63}{\sqrt{3}\cdot 38.5}\left(4.5 + 4.32\,e^{-0.009/0.0104}\right) = 8.4\;kA.$$

*K*2 nöqtəsində qısaqapanma zamanı T_a zaman sabiti 0.0104 san. bərabər olacaq. Bu *K*1 nöqtəsində x/r nisbəti də *K*2 nöqtəsindəkinə bərabər olduqda:

$$\frac{0.12 + 0.02 + 0.042l}{0.0044 + 0.003 + 0.134l} = 3.28,$$

buradan kabelin uzunluğunu təyin edirik: $l = 0.38$ km.

4.4. TƏSİRLƏNMƏSİ AVTOMATİK TƏNZİMLƏNMƏYƏN GENERATORUN SIXACLARINDA ÜÇFAZALI QQ

Generatorun sıxaclarında gözlənilməz QQ zamanı qısaqapanmış dövrənin müqavimətinin azalması ilə (yekun

müqvimət yalnız generatorun daxili müqaviməti ilə xarakterizə olunur) müşahidə olunaraq onda keçid prosesinin yaranmasına gətirib çıxarır. Bunun nəticəsində generatorun hava aralığında iki fırlanan maqnit selləri sistemi yaranır: *F'* və *F"*. Birinci maqnit seli kifayyət qədər kiçik surətlə fırlanır, orta hesabla statora nisbətən hərəkətsisdir. Bu sahə, zamana görə dəyişərək stator dolağında demək olar ki, sıfır tezlikli sərbəst (aperiodik) cərəyanlar, rotorda isə orta hesabla sinxron tezlikli dəyişən (periodik) cərəyanlar yaradır. Bu maqnit seli və onunla əlaqəli cərəyanlar statorun zaman sabiti ilə təyin olunan müdətlə kifayət qədər tez sönür.

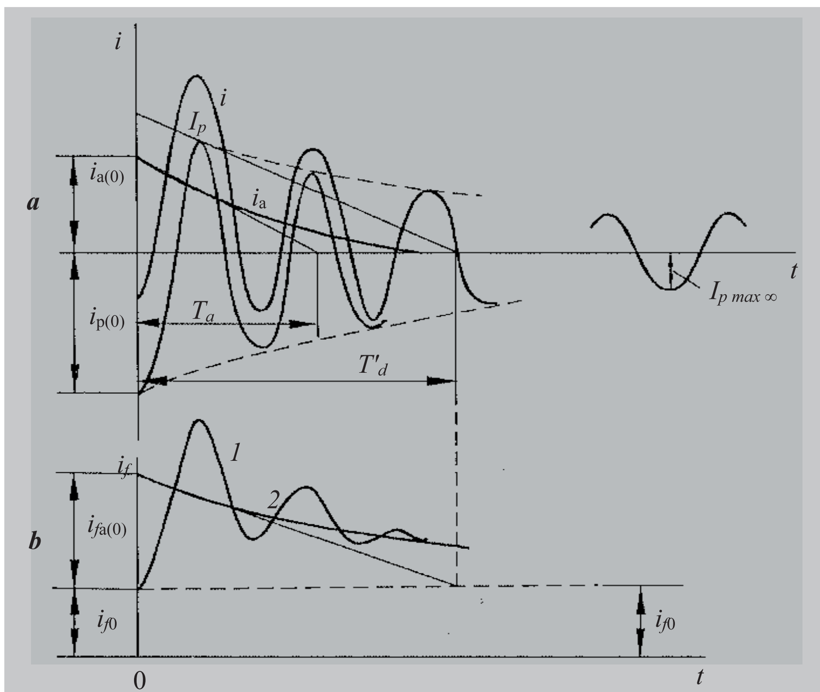
Digər maqnit seli fəzada sinxron surətə yaxın surətlə fırlanır və statorda sinxron tezlikli (periodik) cərəyanı, bu maqnit seli rotora nisbətən demək olar ki, dəyişməz olduğuna görə, rotor dolaqlarında orta hesabla sıfır tezlikli (aperiodik) cərəyanlar yaradır. Maqnit seli və onunla əlaqədar olan cərəyanların sönməsi rotorun zaman sabiti ilə təyin olunur və kifayət qədər gec sönəndir.

Üçfazalı metalik QQ zamanı QQ yerində gərginlik $U = 0$ olur. Normal rejimdən QQ rejiminə keçid, mənbə tərəfəndin generasiya olunan cərəyanın periodik (məcburi) mürəkkəbəsinin üzərinə aperiodik (sərbəst) mürəkkəbənin əlavə olunması ilə müşayət olunur. Qeyri – aydın qütblü generatorun sıxaclarında QQ zamanı bir faz üzrə stator və rotor cərəyanlarının zamana görə dəyişmə əyriləri *şək. 4.7*-də göstərilib.

QQ anına qədər (0 nöqtəsi) generator normal rejimdə, normal parametrlərlə fəaliyyət göstərir.

Genaratorun sıxaclarında və ona yaxın məsafədə QQ baş verdikdə induktiv müqavimət üstünlük təşkil etdiyinə görə aktiv müqaviməti nəzərə almamaq olar.

Şək. 4.7-dən göründüyü kimi, stator cərəyanının periodik mürəkkəbəsi i_p T'_d zaman sabiti ilə sönən təsirlənmə dolağı cərəyanının aperiodik mürəkkəbəsinə i_{fa}-ə uyğundur. Stator cərəyanının aperiodik mürəkkəbəsi i_a isə T_a zaman sabiti ilə sönən təsirlənmə dolağı cərəyanının orta hesabla sinxron tezlikli periodik mürəkkəbəsi i_{fp}-ni, bu isə öz növbəsində rotorun qeyri-simmetrikliyi nəticəsində stator cərəyanının ikinci harmonikasını yaradır. Bir qayda olaraq, T_a zaman sabiti T'_d-dən xeyli kiçikdir.



Şəkil 4.7. Generatorun sıxaclarında üçfazalı QQ zamanı stator (a) və rotor (b) cərəyanlarının dəyişmə əyriləri: i – tam cərəyan; i_p və i_a – periodik və aperiodik mürəkkəbələr; 1 – $i_f = i_{fp} + i_{fa}$, 2 – i_{fa} əyrisi.

Generator məhdud güc mənbəyi olduğuna və təsirlənməninin avtomatik tənzimlənmə (TAT) sistemi nəzərə alınmadığına görə, statorun reaksiya selini artıran rotorun sərbəst cərəyanı söndükcə hava aralığında olan yekun maqnit selini azaldacaq (*şək. 2.1*, *ç*). Nəticədə statorda induksiyalanan EHQ azalacaq və buna müvafiq olaraq statorun periodik mürəkkəbəsi də azalacaqdır.

Generatorun çıxışlarında gərginliyin sabit və ya buraxılabilən hədlər çərçivəsində saxlanılmasını təmin etmək məqsədilə TAT qurğularından istifadə olunur.

4.5. TƏSİRLƏNMƏSİ AVTOMATİK TƏNZİMLƏNƏN GENERATORUN SIXACLARINDA ÜÇFAZALI QQ

İkinci fəsildən məlum olduğu kimi, TAT sisteminin (qurğusunun) əsas təyinatı generatorun bütün mümkün rejimlərində genetatorun sıxaclarında gərginliyin buraxılabilən hədlər çərçivəsində saxlamaqdan ibarətdir.

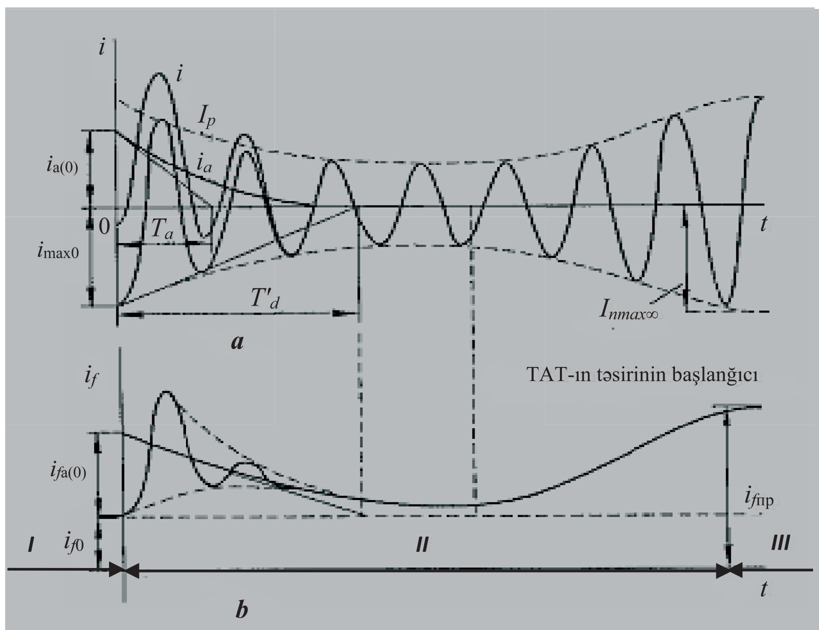
Qısaqapanmanın başlanğıc anında maşının dolaqlarına ilişmiş maqnit sellərinin inersiyalı olmalsı səbəbindən TAT qurğusunun QQ cərəyanına praktiki olaraq təsiri hiss olunmur. Sonrakı mərhələdə onun təsiri altında təsirlənmə cərəyanı artmağa başlayaraq generatorun EHQ-ni və stator cərəyanının periodik mürəkkəbəsini artırır. TAT-ın təsiri altında generatorun EHQ-nin artması həmin anda deyil, TAT-ın işə düşməsi üçün lazım olan şərtlər yarandıqdan sonra başlayır. QQ cərəyanı TAT-ın təsir etməsinin başlanmasına qədər, eyni ilə TAT qurğusu olmayan haldakı kimi azalmağa başlayır, sonra isə generatorun çıxış gərginliyi və QQ-nin periodik mürəkkəbəsi artmağa başlayaraq qərarlaşmış qiymətinə çatır. Generatorun sıxaclarında QQ zamanı cərəyanın qərarlaşmış qiyməti maşının son hədd təsirlənmə cərəyanının yaratdığı son hədd EHQ-yə uyğundur və aşağıdakı formul ilə hesablanır:

$$I_{\infty} = \frac{E_{q\ s.h}}{x_d}.$$

TAT qurğusu olan hal üçün stator və rotor cərəyanının dəyişməsi *şək. 4.8*-də göstərilib.

Keçid prosesi üç mərhələyə bölünə bilər: QQ anına qədər – normal rejim, QQ anından TAT qurğusunun fəaliyyətinin qurtarmasına qədər mövcud olan keçid prosesi və növbəti qərarlaşmış rejim. Birinci mərhələdə, rotor və stator cərəyanları təsirlənmə cərəyanının tənzimlənməsi nəzərə alınmayan QQ zamanı mövcud olan cərəyanlardan fərqlənmirlər (*şək. 4.8*).

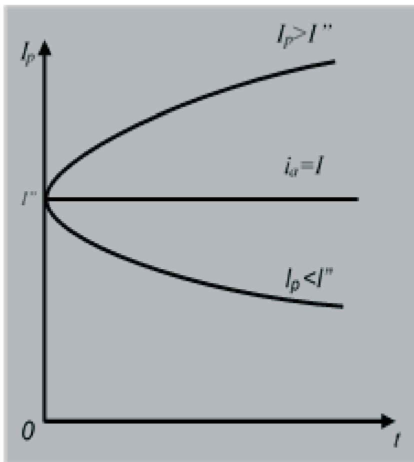
İkinci mərhələ, təsirlənmə cərəyanının artırılması ilə başlanır və onun artması başa çatdıqdan sonra qurtarır. Üçüncü mərhələ qısaqapanmanın qərarlaşmış rejiminə uyğundur.



Şəkil 4.8. TAT qurğusu olan generatorun sıxaclarında üçfazalı QQ zamanı stator (a) və rotor (b) cərəyanının dəyişmə əyriləri

Beləliklə, TAT qurğusunun fəaliyyəti müəyyən inersiya ilə müşahidə olunduğuna görə, QQ-nın tam cərəyanının başlanğıc periodik və aperiodik və zərbə cərayanın qiymətinə əsaslı təsiri olmur və TAT olmayan generatorlardakı qiymətlərə bərabərdir. Bununla yanaşı, *QQ zamanı yaranan stator və təsirlənmə dolaqlarında sərbəst cərəyanların sönməsi TAT-ın təsiri nəticəsində artan cərəyanla müəyyən dərəcədə kompensasiya olunur*. Bu cərəyanların qiymətindən (onların nisbətindən) və dəyişməsinin xarakterindən asılı olaraq QQ cərəyanının tam qiymətinin dəyişməsi müxtəlif olur. Bu halda QQ cərəyanının i_a aperiodik mürəkkəbsi praktiki olaraq dəyişməz qalır (TAT olmayan halına uyğun), i_p periodik mürəkkəbsi isə başlanğıc və təsirlənmə cərəyanının hədd qiymətlərinin nisbətindən asılı olaraq *şək. 4.9*-da göstərildiyi kimi, sönən, artan hətta dəyişməz oal bilər. Əgər TAT-ın təsiri nəticəsində generator gərginliyi özünün buraxılabilən qiymətinə

çatarsa, onda QQ cərəyanı bundan sonrakı mərhələdə dəyişməz qalır. Eyni dəyişmə xarakteri EHQ üçün də doğrudur.



Şəkil. 4.9. TAT qurğusu (T_e=0) olan generatorun başlanğıc və təsirlənmə cərəyanının hədd qiymətlərinin nisbətindən asılı olaraq QQ cərəyanının i_a aperiodik mürəkkəbsinin dəyişməsi.

Yada salq ki, sinxron maşınların hədd təsirlənməsi təsirlənmə gərginliyi və onun artma surəti ilə normalaşdırılır.

4.6. QISAQAPANMANIN QƏRARLAŞMIŞ REJİMİ

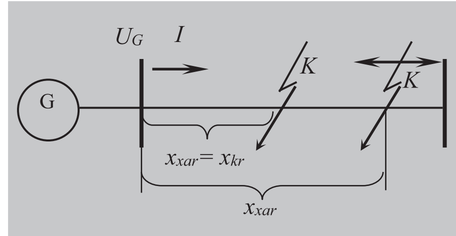
Əvvəlki dərslərdə nəzərdə tutulmuşdur ki, bax;lan dövrə sinusodial gərginliyə qoşuludur və gərginliyin amplitudu sabitdir. Bu şərtlər daxilində dövrənini keçid prosesi yalnız cərəyanın sərbəst aperiodik mürəkkəbəsinin sönməsi ilə xarakterizə olunduğu halda,cərəyanın periodik mürəkkəbəsi dövrənin vəziyyətinin dəyişmiş halında bu dövrənin sinusodial *məcburi və ya qərarlaşmış* cərəyanını ifadə edir.

Keçid prosesinin *qərarlaşmış rejimi* elə rejimə deyilir ki, bu halda QQ-nın başlanğıc anında yaranan bütün sərbəst cərəyanlar sönmüş və TAT-ın fəaliyyəti qurtarmış olsun. Belə tərif şərtidir və mürəkkəb sisitemlərdə QQ rejimləri daha mürəkkəb xarakter daşıyır. Bu ilk növbədə generatorlarda baş verən rəqsi proseslər və onların arzuolunmaz nəticələri ilə əlaqəlidir. Qeyd edək ki, təsirlənmənin tənzimləyiciləri təsirlənmə cərəyanını artıraraq generatorun xarici dövrəsində gərginliyin və cərəyanın artımını yaradır. Belə artımın dərəcəsi qısaqapanmanın başvermə yerinin uzaqlığından və generatorun parametrlərindən asılıdır.

Əgər generatordan uzaqda olan QQ zamanı generatorun şinində nominal gərginliyi bərpa etmək üçün təsirlənmə cərəyanının kiçik hədlərdə artırılması kifayət edirsə, QQ yeri generatorun şininə yaxınlaşdıqca təsirlənmə cərəyanı daha çox artırılması tələb olunur. Lakin, onun həddindən çox artırılması təsirlənmənin son (ən yüksək) həddinin (I_{fsh}-nin) qiyməti ilə məhdudlaşır (*bax 2.1.7 bölməsinə*). Bu səbəbdən də, hər bir generator üçün xarici reaktivliyin ən kiçik qiyməti təyin olunmalıdır (*şək. 4.9*) ki, bu reaktivlikdən sonra baş verən QQ-dən, təsirlənmənin son hədd qiymətində generatorun sıxaclarında nominal gərginlik təmin olunsun. Belə reaktivliyə – *kritik reaktivlik*, generatorun QQ cərəyanına isə *kritik cərəyan* deyilir və o aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

Şəkil 4.9. Generatorun kritik reaktivliyinin təyin olunması

$$I_{kr} = \frac{U_{nom}}{x_{kr}}.$$



Əgər xarici reaktivlik kritik qiymətindən kiçikdirsə, onda TAT təsiri generatorun normal çıxış gərginliyini təmin etmir, əks halda təsirlənmənin son hədd qiymətindən aşağı qiymətlərlə nominal gərginlik təmin olunur.

Beləliklə, *TAT qurğusu olan generator* QQ halında mümkün olan iki rejimdən yalnız birində işləyə bilər:

- *normal gərginlik* ($x_{xar} > x_{kr}$ və $U_G = U_{nom}$ təmin olunur), elementar dövrə üçün QQ cərəyanı növbəti ifadə ilə təyin olunur,

$$I_{qq} = \frac{U_{nom}}{x_{qq}} < I_{kr} = \frac{U_{nom}}{x_{kr}} \quad ; \qquad (4.10)$$

- və ya *son hədd təsirlənmə* rejimində ($x_{xar} < x_{kr}$ və $E_q = E_{q\, s.h}$ və $U_G < U_{nom}$ o, niminal gərginlik səviyyəsi TAT sistemi təmin etmir) işləyə bilər. Bu halda, generatorun EHQ eninə ox üzrə təsirlənmənin son hədd qiyməti ilə təyin olunacaq və QQ cərəyanı aşağıda verən ifadə ilə təyin etmək olar,

$$I_{qq} = \frac{E_{qsh}}{x_d + x_{qq}} > I_{kr} \quad . \qquad (4.11)$$

Kritik x_{kr} və qısaqapanmış dövrənin x_{qq} müqavimətləri bərabər olduqda hər iki ifadə doğrudur.

Yuxarıdakı $x_{kr} = x_{qq}$ şərtini qəbul edərək, (4.10) və (4.11) ifadələrini bərabərləşdirərək kritik reaktivlik üçün aşağıda verilən ifadəni əldə edirik,

$$x_{\text{kr}} = x_d \frac{U_{nom}}{E_{q\,sh} - U_{nom}}.$$

Kritik reaktivliyi bilərək və onu xarici reaktivliklə müqayisə edərək generatorun hansı rejimdə işlədiyini təyin etmək olar. Son hədd təsirlənmə rejimində generatorun nisbi nominal vahidlərdə QQ cərəyanı aşağıdakı formul ilə hesablanır:

$$I_{qq*nom} = \frac{E_{q\,sh*nom} I_{f\,sh*nom}}{x_d + x_{xar}},$$

nominal gərginlik rejimində isə aşağıdakı formul ilə hesablanır

$$I_{qq*nom} = \frac{U_{n*nom}}{x_{xar}}.$$

QQ cərəyanının bu cür hesablanması sadə sxemlərdə, hər bir generator üçün xarici reaktivliyi təyin etmək mümkün olduqda yerinə yetirilir. Qapalı mürəkkəb sxemlərdə xarici reaktivlik anlayışı

hər bir generator üçün əhəmiyyətini itirir. Bu halda hesabat ardıcıl yaxınlaşma üsulu ilə aparılır. Bu məqsədlə:

- sxemin hər bir generatoru üçün onun QQ nöqtəsindən hansı məsafədə yerləşməsindən asılı olaraq ya normal gərginlik rejimi (generator sxemə E_q = U_{nom}, x_d = 0 ilə sxemə daxil edilir) ya da son hədd təsirlənmə rejimi (generator $E_{q\,sh}$ və x_d ilə əvəz olunur) sxemləri ixtiyari seçilir;
- sxemdə cərəyanın paylanması və generatorların həqiqi cərəyanları hesablanaraq və onların kritik cərəyanları ilə müqayisə olunur. Son hədd təsirlənmə rejimi üçün $I \geq I_{kr}$ şərti, normal gərginlik rejimi üçün isə $I \leq I_{kr}$ şərti yerinə yetirilməlidir;
- əgər yoxlama zamanı bəzi generatorların rejimlərinin düzgün seçilmədiyi aşkar olunarsa, onlar dəyişdirildikdən sonra hesabat təkrar olunmaqla yenidən yoxlama aparılır.

Qeyd edək ki, nominal gərginliklə işləyən generatorlar QQ cərəyanlarının hesablanmasında nəzərdən atıla bilər, bu halda əvəz sxemi kifayyət qədər sadələşmiş olur.

4.7. QISAQAPANMANIN BAŞLANĞIC İFRAT KEÇİD VƏ ZƏRBƏ CƏRƏYANLARININ HESABATI

Əksər praktiki məsələlərin həlli QQ cərəyanlarınının t=0 anında maksimum qiymətlər aldığını nəzərə alaraq, hesablamaların bu an üçün aparmaqla kifayyərlənirlər. Hesablamalar zamanı bir sıra sənədləşdirmələr qəbul olunur ki, onlar hesabatın aparılmasını xeyli sadələşdirir. Belə sadələşdirilmələrdən biri uzununa (x''_d) və eninə (x''_q) ifrat keçid reaktivliklərinin bərabər, yəni $x''_d = x''_q$ olmasının qəbul olunmasıdır. Bu zaman ifrat keçid EHQ (2.27) ifadəsi və ya daha təqribi (2.28) formulları üzrə təyin edilir. (2.27) ifadəsi sinxron generatorlar üçün istifadə olunarkən kök altında olan cərəyanın müqavimətə hasilinin qarşısında olan mənfi işarəsi müsbətlə əvəz olunur. Belə sadələşdirmə ± 5 % həddində xəta yaratmasına baxmayaraq, praktiki hesabatlar zamanı tamamilə yol veriləndir.

Beləliklə, başlanğıc keçid ifrat keçid cərəyanını hesablamaq üçün:

- Hesablama sistemi seçilməklə əvəz sxemi tərtib olunur;

- Bu əvəz sxemlərində generatorlar, böyük güclü sinxron və asinxron mühərriklər, ümumiləşdirilmiş yüklərin gətirilmiş qiymətləri x'' və E''_o ilə daxil edilir;
- Əvəz sxeminin elementlkərinin parametrləri hesabalanır;
- Sxemin sadələşdirilməsi həyata keçirilir;
- QQ rejiminin əsas parametrləri hesablanır.

Əvəz sxemi *şək. 4*.5 və ya *4.6*-da göstərilən şəklə çevrilir. Əgər EHQ və müqavimətlərin təyini zamanı çətinliklər yaranarsa, onların təqribi qiyməylərini *cədvəl 4.1*-dən götürmək olar [2].

cədvəl 4.1

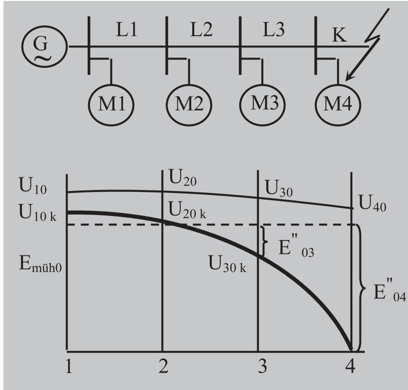
Elementin adı	X''	E''_o
Gücü 100 MVt –a qədər olan turbogenerator	0,125	1,08
Həmçinin gücü 100 – 500 MVt	0,2	1,13
Dempfer dolaqlı hidrogenerator	0,2	1,13
Dempfer dolaqsız hidrogenerator	0,27	1,18
Sinxron mühərrik	0,2	1,10
Sinxron kompensator	0,2	1,20
Asinxron mühərrik	0,2	0,90
Ümumiləşdirilmiş yük	0,35	0,85

x'' və E''_o -ın orta qiymətləri (normal şərait zamanı, nisbi vahidlərdə)

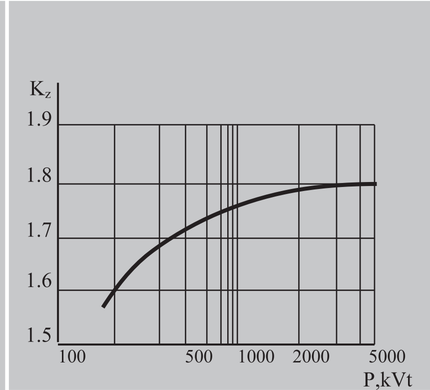
QQ yerində və ona bitişik olan nöqtələrdə başlanğıc ifrat keçid cərəyanının hesabatını apararkən, yalnız QQ baş verən yerə qoşulan və ya bilavasitə ondan elektriki yaxın məsafədə yerləşən yüklər və böyük güclü mühərriklər nəzərə alınır. Bu sadələşdirmə QQ yerindən müxtəlif məsafələrdə yerləşən dörd ədəd sinxron mühərrikin qidalanma sxemi və QQ-dən əvvəlki (U_{10K} – U_{40K}) və QQ-dən sonrakı rejimlərə (U_{10K} – U_{40K}) müvafiq gərginliklərin epürləri *şək. 4.10*-da verilmişdir. Burada qırıq xətlə kəmiyyətcə bərabər qəbul olunan $E_{müh}$ mühərriklərin EHQ -ləri işarə edilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, yalnız M4 mühərriki QQ yerini kifayət qədər qidalandırır ($E_{müh\ 0}$ – $U_{40\ K}$ fərqinin kifayət qədər böyük olması səbəbindən), yerdə qalan mühərriklər QQ yerində cərəyana ciddi təsir göstərmir.

Asinxron mühərriklərin zərbə cərəyanının təyinatı zamanı, qəbul etmək lazımdır ki, mühərriklərin cəryanlarının aperiodik və

periodik mürəkkəbələrinin sönməsi təqribən eyni zaman sabiti ilə baş verir. Asinxron mühərriklərin zərbə əmsalında cərəyanın hər iki mürəkkəbəsinin sönməsi nəzərə alınır.



Şək. 4.10. QQ yerindən müxtəlif məsafələrdə yerləşən mühərriklərdə gərginliklərin epürü



Şək. 4.11. Asinxron mühərrikin zərbə əmsalı K_z –nin, onun gücündən asılılığı

Zərbə əmsalının mühərrikin gücündən asılılığının eksperimental əyrisi *şəkil 4.11*-də göstərilib. Bu asılılıq əyrisindən təyin olunan K_z nəzərə alınmaqla mühərrikin zərbə cərəyanı

$$i_{z.m} = \sqrt{2} K_{z.m} I_m^{//}$$

formulu ilə təyin olunur,
burada, I''_m – mühərrikin başlanğıc ifrat keçid cərəyanıdır.

YOXLAMA SUALLARI

1. Sonsuz güc şini nə deməkdir?
2. T_a zaman sabitinin fiziki mənası nədən ibarətdir?
3. Zərbə cərəyanının yaranma şərtləri hansılardır?
4. Zərbə cərəyanının təsiredici qiyməti nə deməkdir?
5. Ekvivalent zaman sabiti anlayışının tərifini verin?
6. TAT qurğusu olan sinxron maşının keçid rejiminin xüsusiyyətləri hansılardır?
7. Normal gərginlik və son hədd təsirlənmə rejimlərinin mənasını izah edin və təriflərini verin

V FƏSİL

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNDƏ QEYRİ - SİMMETRİK KEÇİD PROSESLƏRİ

Üç fazlı QQ-nın tədqiqi zamanı, qısaqapanmış dövrənin ekvivalent sxeminin bir xətli təsvirindən istifadə olunur və fazlarda prosesslər analoji olduğuna görə hesablamalar bir faz üzrə aparılır.

Qeyri simmetriyanın yarnan halında şəbəkə sistemi elementlərində faz cərəyanları, faz və xətti gərginlikləri, gərginlik düşküləri və digər göstəricilər üzrə simmetriya pozulur. Bu halda faz cərəyan və gərgiliklər vektoru qeyri – simmetrikidir və ümumi halda tarazlaşmamış sistem formalaşdırır və hesablamaları aparmaq üçün hər üç faz üzrə əvəz sxeminin qurulması tələb olunur. Bununla yanaşı qaşılıqlı induksiyanını da nəzərə alınması hesablamalar üçün zəruri olan bərabərliklərin sayının və hesablamaların həcmini kifayyət qədər artırır.

Qeyri – simmetrik rejimlər, qeyri – simmetrik qısaqapanmalar və ya xəttin bir və ya iki fazının qırılması nəticəsində baş verir. Birinci halda elektrik şəbəkələrində *eninə qeyri – simmetriklik*, ikinci halda isə *uzununa qeyri – simmetriklik* yaranır. Qeyri – simmetriklik zamanı keçid proseslərinin ciddi riyazi analizi əlavə olaraq, onunla çətinləşir ki, stator dövrəsinin simmetriyasının pozulması səbəbindən elektrik maşınlarında rotorun döyünən maqnit sahəsi yaranır və o da cərəyanın ali harmonik mürəkkəbəsinin bütün spektrlərini yaradır [2]. Digər tərəfdən *A, B, C* faz koordinat oxları sisteminin *d, q, 0*

dəyişdirilməsi bu prosseslər təsvir edən diferensial tənliklər sistemini periodik mürəkkəbələrdən azad etmir. Ona görə də, əksər praktiki hesablamalrda cərəyan və gərginliyin ancaq əsas harmonikası nəzərə alınır. Yalnız belə məhdudlaşdırma ilə növbəti paraqrafda verilən simmetrik mürəkkəbələr metodundan istifadə etmək mümkündür. Bu metod, ən çox qeyri – simmetrik QQ-lərin analizi üçün istifadə olunur.

5.1. SİMMETRİK MÜRƏKKƏBƏLƏR METODU

Simmetrik mürəkkəbələr metodu fazların qeyri – bərabər iş şəraitindəki çoxfazlı elektrik sisteminin riyazi nəzəriyyəsinə əsaslanır. Metodun riyazi əsaslandırılması K. Forteskue (C.L. Fortescue) tərəfindən işlənmiş, sonra isə onu R. Evans və K. Vaqner (R. Evans və C. Wagner) [1] qeyri – simmetrik QQ – nin analizi zamanı yaranan problemlərin həlli üçün istifadə etmişlər. Postsovet məkanında metodun hesablamalra tətbiq olunmasında M.N. Şedrin [1] və S.A. Ulyanov aktiv rol oynamışlar [2].

Qeyri – simmetrik rejimlərin hesablamalarını simmetrik mürəkkəbələr metodu ilə aparmaq olar. Bu metodun əsası ondan ibarətdir ki, dekart koordinatlar sistemində istənilən vektor iki sərbəstlik dərəcəsinə malikdir və vektor onun oxlar üzrə proyeksiyası vasitəsilə təqdim oluna bilər:

$$\dot{N} = N_x + jN_y = |\boldsymbol{N}|\, e^{jarctg\, Nx/jNy}$$

Bu ifadədən belə nəticəyə gəlmək olar ki, ümumiyyətlə istənilən üç qeyri – simmetrik vektor altı sərbəstlik əmsalına malikdir. Qeyri - simmetrik sistemi hər birinin iki sərbəstlik əmsalı olan üç simmetrik sistem kimi, təsvir etmək olar. Elektrik sistemlərində hadisələrin fizikasını nəzərə alaraq düz, tərs və sıfır ardıcıllıqlarda ibarət olan üç simmetrik sistemdən istifadə olunur. Bu sistemlərin hər birində gedən proseslər oxşardır, bu isə hər bir ardıcıllıq üzrə birxətli əvəz sxemindən istifadə etməyə və hesablamaların bir faz üzrə həyata keçrilməsinə imkan verir. Bu, simmetrik mürəkkəbələr metodunun əsas üstünlüklərindən biridir.

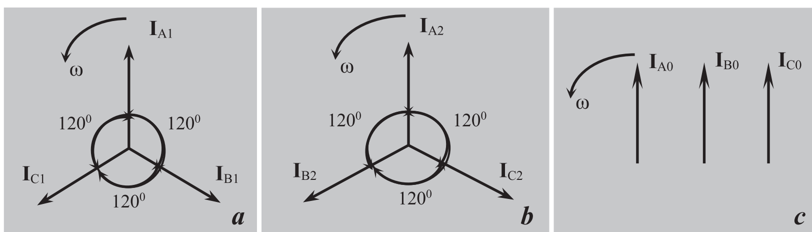
Simmetrik mürəkkəbələr metodunun əsas müddəalarını ifadə edək:

1.*İstənilən qeyri – simmetrik cərəyanlar sistemini düz, əks və sıfır ardıcıllıqlı sistem adlanan üç simmetrik hissəyə bölmək olar. Bu sistemlər "simmetrik mürəkkəbələr" adını almışdır*. Onların baxılan şəbəkədə qeyri – simmetrik rejimdə eyni zamanda dövr etməsi nəzərdə tutulur. Düz ardıcıllıq simmetrik cərəyanlar sistemi *(şəkil 5.1, a)* 120^o bucaq altında yerləşən üç ədəd, qiymətləri eyni olan vektordan ibarətdir. Vektorlar saat əqrəbinin əksinə fırlanır və fazların dəyişməsinin normal ardıcıllığına (*A – B – C*) riayət olunur. Bölünmə şərtinə uyğun olaraq növbəti bərabərlikləri yaza bilərik:

$$\begin{aligned}\mathbf{U}_A &= \mathrm{U}_{A1} + \mathrm{U}_{A2} + \mathrm{U}_{A0},\\ \mathrm{U}_B &= \mathrm{U}_{B1} + \mathrm{U}_{B2} + \mathrm{U}_{B0},\\ \mathrm{U}_C &= \mathrm{U}_{C1} + \mathrm{U}_{C2} + \mathrm{U}_{C0}.\end{aligned} \tag{5.1}$$

(5.1) bərabərliyini üç məchula gətirmək üçün faz qiymətlərinin nisbətini müəyyən edən növbəti vahid vektorlar sistemi - dönmə operatoru daxil edirik:

$$\mathbf{a} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = e^{f120^o}.$$



Şək. 5.1. Düz (a), əks (b) və sıfır ardıcıllıqlı (c) cərəyanlar sistemi

Bu vahid uzunluqlu vektorun 120^o-yə bərabər arqumenti var. Əgər biz, məsələn $\mathbf{I}_{A1}$ vektorunu **a**-ya vursaq, bu $\mathbf{I}_{A1}$-in saat əqrəbinin əksinə (müsbət istiqamətdə) 120^o çevrilməsi deməkdir. Vektoru $\mathbf{a}^2$

dönmə operatoruna vursaq, onda bu vektorun 240^0 müsbət və ya 120^0 əks istiqamətdə dönməsinə uyğun olacaqdır.

Qeyd edək ki, dönmə operatorundan istifadə həll olunan məsələnin ölçüsünün azalmasına imkan verir.

Dönmə operatorların cəmini

$$\mathbf{a^2 + a = -1,}$$

fərqini isə

$$\mathbf{a^2 - a = -j\sqrt{3},}$$

ifadələri ilə göstərmək olar.

a vektorunun köməyi ilə istənilən fazın cərəyanlarının düz ardıcıllıq mürəkkəbəsini digər fazların cərəyanları vasitəsilə ifadə etmək olar:

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_{A1} &= \mathbf{aI}_{B1} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{C1} \\ \mathbf{I}_{B1} &= \mathbf{aI}_{C1} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{A1} \\ \mathbf{I}_{C1} &= \mathbf{aI}_{A1} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{B1} \end{aligned} \qquad (5.2)$$

Əks – ardıcıllıq cərəyanların simmetrik sistemi (*şək. 5.1*, *b*) üç ədəd eyni qiymətli, 120^o-lik bucaq altında yerləşən və saat əqrəbinin əksinə fırlanan vektorlardan ibarətdir. Bu vektorlar elə fırlanır ki, fazların əks ardıcıllığına (*A – C – B*) riayət olunur. Bu zaman (5.2) ifadələrinə anoloji olaraq cərəyanın əks-ardıcıllıq cərəyanları üçün növbəti əlaqələri yazmaq olar:

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_{A2} &= \mathbf{aI}_{C2} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{B2} \\ \mathbf{I}_{B2} &= \mathbf{aI}_{A2} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{C2} \\ \mathbf{I}_{C2} &= \mathbf{aI}_{B2} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{A2} \end{aligned} \qquad (5.3)$$

Qeyd edək ki, düz və tərs ardıcıllıqlı vektorlar sistemnin cəmi sıfıra bərabər olduğuna görə, bu *sistemlər tarazlaşdırılmışdır*.

Sıfır ardıcıllıq cərəyanların simmetrik sistemi (*şəkil 5.1*, *c*) düz və əks ardıcıllıqlıdan kifayət qədər fərqlənir, simmetrikdir, lakin *tarazlı vəziyyətdə deyil*. O, fazlar üzrə üst – üstə düşən, eyni amplitudlu, yerə və ya neytral məftillə axan üç dəyişən cərəyanlar sistemindən ibarətdir:

$$\mathbf{I}_{A0} + \mathbf{I}_{B0} + \mathbf{I}_{C0} = 3\mathbf{I}_{A0} \neq \mathbf{0}$$

Ümumiyyətlə, məzmununa görə bu cərəyanlar bir fazlı cərəyanın şaxələnməsindən ibarətdir. Şəbəkədə sıfır ardıcıllıq cərəyanların olması onda yerlə qeyri – simmetrik qapanmanın yaranması deməkdir. Baxdığımız qeyri – simmetrik cərəyanlar sisteminin simmetrik mürəkkəbələrə bölünməsində ancaq bir bölünməyə yol verilir. Həqiqətən, hər bir fazın (ilkin) cərəyanını onun simmetrik mürəkkəbələri vasitəsilə təsvir etsək aşağıdakıları alarıq:

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_{A} &= \mathbf{I}_{A1} + \mathbf{I}_{A2} + \mathbf{I}_{A0}, \\ \mathbf{I}_{B} &= \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{A1} + \mathbf{a}\mathbf{I}_{A2} + \mathbf{I}_{A0}, \\ \mathbf{I}_{C} &= \mathbf{a}\mathbf{I}_{A1} + \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{A2} + \mathbf{I}_{A0}. \end{aligned} \tag{5.4}$$

Fazlar üzrə gərginlikləri də onun simmetrik mürəkkəbələri ilə analoji olaraq ifadə etmək olar:

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_{A} &= \mathbf{U}_{A1} + \mathbf{U}_{A2} + \mathbf{U}_{A0}, \\ \mathbf{U}_{B} &= \mathbf{a}^2\mathbf{U}_{A1} + \mathbf{a}\mathbf{U}_{A2} + \mathbf{U}_{A0}, \\ \mathbf{U}_{C} &= \mathbf{a}\mathbf{U}_{A1} + \mathbf{a}^2\mathbf{U}_{A2} + \mathbf{U}_{0A}. \end{aligned} \tag{5.5}$$

Əgər $\mathbf{I}_A$, $\mathbf{I}_B$, $\mathbf{I}_C$ qeyri – simmetrik mürəkkəbələr verilənlər olarsa, onda $\mathbf{I}_{A1}$, $\mathbf{I}_{A2}$ və $\mathbf{I}_{A0}$ simmetrik mürəkkəbələri üç axtarılan kəmiyyətlərdir. Onlar ancaq bir həlli mümkün olan (5.4) ifadəsinin dönmə operatoruna vurmaqla çevrilməsindən alınan üç xətti təliklərlə təyin olunur:

$$\mathbf{I}_{A1} = \frac{1}{3}\left(\mathbf{I}_A + \mathbf{a}\mathbf{I}_B + \mathbf{a}^2\mathbf{I}_C\right), \qquad (5.6)$$

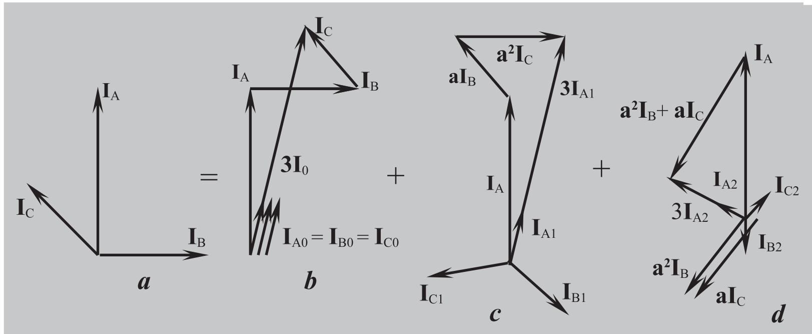
$$\mathbf{I}_{A2} = \frac{1}{3}\left(\mathbf{I}_A + \mathbf{a}^2\mathbf{I}_B + \mathbf{a}\mathbf{I}_C\right), \qquad (5.7)$$

$$\mathbf{I}_{A0} = \frac{1}{3}\left(\mathbf{I}_A + \mathbf{I}_B + \mathbf{I}_C\right), \qquad (5.8)$$

Cərəyanın simmetrik mürəkkəbələri üçün olan bütün mütənasibliklər, gərginliklər üçün də doğrudur.

Qeyri – simmetrik cərəyanların mürəkkəbələrə ayrılmasına baxaq (*şəkil 5.2*, *a)*· (5.6) – (5.8) ifadələrinə müvafiq olan həndəsi qurma vasitəsilə sıfır, düz və əks ardıcıllıq cərəyanlarını tapaq (*şəkil 5.2*,*b–d*). Əgər simmetrik mürəkkəbələri (5.4) ifadəsinə müvafiq olaraq toplasaq, onda ilkin sistemi alarıq.

2. *Üçfazalı dövrədə QQ yerində gərginliyin düz ardıcıllığı ilə yanaşı onun əks və sıfır ardıcıllığı yaranır. Sxemin budaqlarında isə düz ardıcıllıqlı cərəyanla eyni yerdə əks və sıfır ardıcıllıq cərəyanları dövr etməyə başlayır*.



Şəkil 5.2. Qeyri – simmetrik cərəyanlar və onun simmetrik mürəkkəbələr sistemi.

Bu müddəanı nümunələrlə aydınlaşdırmaq üçün *şək. 5.3*-də göstərilən elektrik sisteminin sxeminə baxaq. Cərəyanların müsbət istiqaməti kimi soldan sağa istiqaməti qəbul edək və fərz edək ki, paylanmanın təsviri *şəkil 5.3*-də göstərilən kimidir.

Onda 1-ci sahə üçün

$$\mathbf{I}_A^{(1)} + \mathbf{I}_B^{(1)} + \mathbf{I}_C^{(1)} = 0,$$

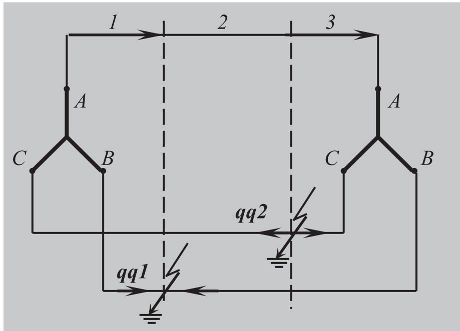
ikinci sahə üçün

$$\mathbf{I}_A^{(2)} + \mathbf{I}_B^{(2)} + \mathbf{I}_C^{(2)} \neq 0,$$

üçüncü sahə üçün

$$\mathbf{I}_A^{(3)} + \mathbf{I}_B^{(3)} + \mathbf{I}_C^{(3)} = 0 \text{ olar.}$$

Bu mütənasibliklərdən görünür ki, (5.8) ifadəsi ilə təyin olunan sıfır ardıcıllıqlı cərəyan ancaq 2 sahəsində dövr eləyir.



Şək. 5.3. İki tərəfdən qidalanan şəbəkənin B və C fazalarının yerlə qapanması

1 və *2* sahələri üçün aşağıdakı mütənasiblikləri yazmaq olar:

$$\mathbf{I}_A^{(1)} = \mathbf{I}_A^{(2)}, \qquad \mathbf{I}_C^{(1)} = \mathbf{I}_C^{(2)},$$

$$\mathbf{I}_\mathbf{B}^{(1)} - \mathbf{I}_\mathbf{B}^{(2)} = \mathbf{I}_\text{y} \text{ və ya}$$

$$\mathbf{I}_\mathbf{B}^{(2)} = \mathbf{I}_\mathbf{B}^{(1)} - \mathbf{I}_\mathbf{y},$$

burada $\mathbf{I}_\text{y}$ yerdən axan cərəyandır. Buradan

$$\mathbf{I}_\mathbf{A}^{(2)} + \mathbf{I}_\mathbf{B}^{(2)} + \mathbf{I}_\mathbf{C}^{(2)} = \mathbf{I}_\mathbf{A}^{(1)} + \mathbf{I}_\mathbf{B}^{(1)} + \mathbf{I}_\mathbf{C}^{(1)} - \mathbf{I}_\text{y} = 0 - \mathbf{I}_\text{y} = -\mathbf{I}_\text{y}$$

(5.8) ifadəsi nəzərə alınmaqla 2-ci sahənin sıfır ardıcıllıqlı cərəyanı aşağıdakı formul ilə təyin olunacaq:

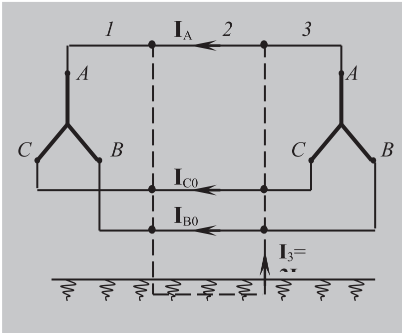
$$\mathbf{I}_{\mathbf{A}0}^{(2)} = \mathbf{I}_{\mathbf{B}0}^{(2)} + \mathbf{I}_{\mathbf{C}0}^{(2)} = -\frac{1}{3}\mathbf{I}_{\mathbf{y}}.$$

Sıfır ardıcıllıqlı cərəyanların dövr etmə sxemi *şəkil. 5.4*-də göstərilib. Bu sxem üçün iki sadələşdirmə lazımdır:

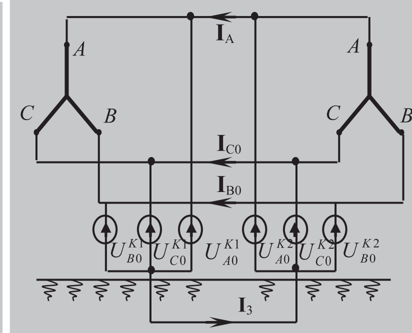
a) yerdə olan cərəyan naqillərin sıfır ardıcıllıqlı cərəyanı ilə qapalı kontur yaradır;

b) QQ yerində bir yox, hər üç naqil yerlə birləşdirilib.

Beləliklə, sıfır ardıcıllıqlı cərəyanların dövr etməsinin fiziki təsvirini almaq üçün *A, B, C* fazlarını yerlə birləşdirən naqilə sıfır ardıcıllıqlı gərginlik mənbəyini *şək. 5.5*-də göstərilən kimi qoşmaq lazımdır.



Şək. 5.4. Sıfır ardıcıllıqlı cərəyanların dövretmə sxemi



Şək.5.5. Sıfır ardıcıllıqlı istiqamətləndirmə mənbəyinin qoşulma sxemi

Bütün bu sadələşdirmələr sıfır ardıcıllıqlı cərəyanlar sistemini düz və əks ardıcıllıqlı cərəyanlar sistemindən ayırmaq üçün lazım olan sadələşdirmələrdir. Əgər düz və əks ardıcıllıqlara ayrılıqda baxsaq, onda onların hər biri üçün oxşar sadələşdirmələri tətbiq etmək lazım olacaq. Yalnız fərq ondadır ki, indi hər bir fazın yerə nəzərən U_{A0}, U_{B0}, U_{C0} gərginlikləri əvəzinə simmetrik ulduz vektorları təsvir edən U_{A1}, U_{B1}, U_{C1} və ya U_{A2}, U_{B2}, U_{C2} gərginliklərini qoşmaq lazımdır.

3. *Simmetrik elektrik sistemlərində ayrı – ayrı ardıcıl birləşdirilmiş sxemlərin cərəyan və gərginliklərinə bir*

birindən ayrı və ya Om və Kirkhov qanunları vasitəsilə öz aralarında əlaqəli şəkildə baxıla bilər.

Əgər dövrənin hər hansı bir elementi simmetrikdirsə (yüksək gərginlikli şəbəkələrdə buna fazların transpzisiyası iə nail olunur), onda *simmetrik mürəkkəbələrin təsirinin müstəqilliyi* prinsipi doğrudur. Başqa sözlə, üçfazlı simmetrik elementlərdən I_1, I_2, I_0 cərəyanları axarkən onlar Z_1, Z_2, Z_0 müqavimətrlərinə malik olurlarsa, onda bu elementdə eyniadlı gərginlik düşgüsü yaradırlar və simmetrik mürəkkəbələri aşağıdakı kimi təyin olunacaq:

$$\Delta\mathbf{U}_1 = \mathbf{I}_1\mathbf{Z}_1, \quad \Delta\mathbf{U}_2 = \mathbf{I}_2\mathbf{Z}_2, \quad \Delta\mathbf{U}_0 = \mathbf{I}_0\mathbf{Z}_0, \qquad (5.9)$$

(5.9) tənliklərinin kompleks forması ancaq stasionar rejim üçün deyil, həm də keçid rejimi üçün doğrudur. Çünki keçid prosesi zamanı cərəyan və gərginliklər fırlanan vektorların müvafiq oxlara proyeksiyası kimi təqdim oluna bilər. Belə halda kompleks qiymətləri əlaqələndirən diferensial tənliklərə operator tənlikləri cavab verir. Onlar öz strukturlarına görə başlanğıc sıfır şərtlərində kompleks formada yazılan stasionar rejimin tənlikləri ilə oxşardır.

Sinxron maşın öz təbiətinə görə, yalnız simmetrik EHQ generasiya edir. Qeyri-simmetrik QQ zamanı zədələnmə yerində qeyri-simmetrik gərginliklər yaranır və bu gərginliklər simmetrik mürəkkəbələrin həndəsi cəmi kimi ifadə oluna bilər. Buna uyğun olaraq, hər bir ardıcıllığın istənilən növ QQ üçün Kirkhofun ikinci qanunu aşağıdakı şəkildə yazıla bilər:

$$\mathbf{U}_{k1} = \mathbf{E}_{\Sigma} - \mathbf{Z}_{1\Sigma}\mathbf{I}_{k1} \qquad (5.10)$$

$$\mathbf{U}_{k2} = 0 - \mathbf{Z}_{2\Sigma}\mathbf{I}_{k2} \qquad (5.11)$$

$$\mathbf{U}_{k0} = 0 - \mathbf{Z}_{0\Sigma}\mathbf{I}_{k0} \qquad (5.12)$$

burada $\mathbf{U}_{K1}$, $\mathbf{U}_{K2}$, $\mathbf{U}_{K0}$, $\mathbf{I}_{K1}$, $\mathbf{I}_{K2}$, $\mathbf{I}_{K0}$ – QQ yerində cərəyan və gərginliyin

simmetrik mürəkkəbələri;

$\mathbf{E}_{\Sigma}$ – QQ nöqtəsinə nisbətən yekun EHQ;

$\mathbf{Z}_{1\Sigma}$, $\mathbf{Z}_{2\Sigma}$, $\mathbf{Z}_{0\Sigma}$ – QQ nöqtəsinə nisbətən müvafiq ardıcıllıqlar üzrə sxemin yekun müqavimətləridir.

Kirkhofun ikinci qanunu tənliklərinin yazılışı simmetrik mürəkkəbələr metodunun növbəti müddəasını zəruri edir.

4. *Üçfazalı şəbəkə elementlərinin müqavimətləri cərəyanın düz, əks və sıfır ardıcıllıqlı mürəkkəbələri üçün eyni deyildir. Generatorların EHQ -ləri simmetrikdir, yəni onların tərkibində əks və sıfır ardıcıllıqlı mürrəkkəbələr yoxdur*.

Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki:

a) elektrik sistemində ancaq düz ardıcıllıqlı EHQ mövcuddur;

b) əks və sıfır ardıcıllıqlı cərəyanlar ancaq QQ yerindəki gərginliklərlə təyin olunur.

5. *Həmişə, üç simmetrik mürəkkəbələr sistemi arasında QQ şərtləri ilə verilən əlaqə mövcuddur*. Bu əlaqə həqiqi cərəyan və gərginlik vasitəsilə verilmiş qısaqapanmanın sərhəd şərtlərinin simmetrik mürəkkəbələrlə verilmiş şərtlərə köçürülməsi ilə asanlıqla müəyyən olunur.

5.2. ELEKTRİK SİSTEMİ ELEMENTLƏRİNİN TƏRS VƏ SIFIR ARDICILLIQ ÜZRƏ MÜQVİMƏTLƏRİ

Elektrik sisteminin hər bir elementi düz, əks və sıfır ardıcıllıqlı parametrləri ilə xarakterizə olunur. Simmetrik normal və simmetrik keçid prosesslərinin hesablamalarında sistemin elementlərinin təqdim olunan bütün müqavimətləri düz ardıcıllıqlının müqavimətləridir. Fazları arasında qarşılıqlı induksiya olmayan elementlər üçün (məsələn reaktor) müxtəlif ardıcıllıqların müqaviməti bir birinə bərabərdir ($Z_1 = Z_2 = Z_0$) və fazların sıralanma ardıcıllığından asılı deyil. Bu tip elementlərin müqvimətləri yalnız, öz fazının induktivliyi ilə təyin olunur və cərəyanının tezliyindən asılı olur. Yəni,

$$x_1 = x_2 = x_0, \quad r_1 = r_2 = r_0.$$

Maqnitəlaqəli dövrəsi, bir-birinə nisbətən hərəkətsiz olan elementlərdə (məs. transformator, xətt) fazlararası qarşılıqlı induksiyası fazların sıralanma ardıcıllığının dəyişməsi zamanı sabit qaldığına görə onların düz və əks ardıcıllıq müqavimətləri bərabərdir ($Z_1 = Z_2$).

Beləliklə, transformator, aftotransformator, hava xətti, kabellәe və reaktorlar üçün

$$r_1=r_2 \quad \text{və} \quad x_1=x_2,$$

müvafiq olaraq

$$Z_1=Z_2\,.$$

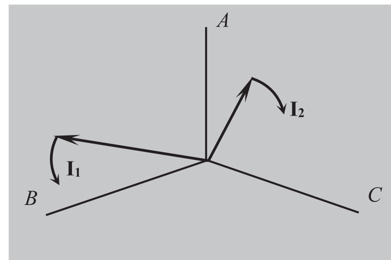
Sıfır ardıcıllıqlı cərəyanlar sistemi (faza görə üst-üstə düşdüyünə görə) düz və tərs ardıcıllıqlı cərəyanlar sistemindən kəskin fərlənir. Bu səbəbdən sıfır ardıcıllığın müqaviməti də digər iki ardıcıllıqdan fərlənir.

5.2.1. Sinxron maşınlar

Əks ardıcıllıqlı faz cərəyanlar sistemi əks ardıcıllıqla sıralanan düz ardıcıllıqlı sistemdən fərqlənir.

Əks ardıcıllıqlı cərəyanın ümumiləşdirilmiş vektoru (*şək 5.6*) düz ardıcıllıqlı vektora nisbətən əks tərəfə, yəni *2ω* sürəti ilə fırlanır.

Əks ardıcıllıqlı cərəyan stator dolağından keçərək statorun reaksiyasının maqnit sahəsinin əks istiqamətində fırlanan maqnit sahəsini yaradır. Bu səbəəbdən, əks ardıcıllıqlı cərəyanın yaratdığı maqnit sahəsi rotora nisbətən ikiqat sinxron tezliklə fırlanaraq ikiqat tezlikli döyünən maqnit sahəsini yaradır.



Şəkil 5.6. Düz və əks – ardıcıllıqlı cəryanların ümumləşdirilmiş vektorları

Sinxron maşınlarda gedən proseslərin fiziki təsviri daha ətraflı [15, səh.62-264]-də verilib. Əks rdıcıllığın induktiv müqaviməti tətbiq olunmuş əks ardıcıllıq gərginliyinin əks ardıcıllıq cərəyanın əsas harmonikasına nisbəti kimi təyin etmək olar ($x_2 = U_2 / I_2$). Qeyri – aydın qütblü Sinxron maşınların əks ardıcıllıqlı

müqaviməti praktiki hesabatlarda onun ifrat keçid müqavimətinə bərabər qəbul edilir ($x_2 = x''_d$).

Əvvəlki paraqraflardan məlumdur ki, sinxron tezliyin əks ardıcıllıq seli statorda tək harmonikalar yardır ki, bunlar da statorun maqnit sahəsinin sinusioidallığını pozur. Belə şərait sinxron maşınların əks ardıcıllıq reaktivliyinin təyin olunmasını xeyli çətinləşdirir. Dəqiqliklə yanaşaq, maşınlarda belə reaktivlik mövcud olmur. Belə ki, o xarici faktorlarla təyin olunur (məsələn xarici raktivliklə, qeyri-simmetriyanın növü və s.).

Dempfer dolağı olmayan aydın qütblü maşınlar üçün əks ardıcıllıq müqaviməti aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$x_2 = \frac{2x_d^{/}x_q}{x_d^{/} + x_q}.$$

Dempfer dolağı nəzərə alınmaqla bu ifadə belə olacaq:

$$x_2 = \frac{2x_d^{//}x_q^{//}}{x_d^{//} + x_q^{//}}.$$

Əks ardıcıllıq mqavimətinin qiyməti maşınların pasport göstəriciləri olmaqla, məlumat kitabçalarında və katoloqlarda verilir. Belə verilənlər olmadıqda, təqribi yanaşma kimi, dempfer dolağı olmayan maşınlar üçün əks ardıcıllıqlı müqavimətin qiymətini

$$x_2 \approx 1{,}45\, x_d' ,$$

rotorunun hər iki oxu üzrə dempfer dolağı olan turbogeneratorlar uçun isə

$$x_2 \approx 1{,}22\, x_d''$$

səviyyəsində qəbul olunur.

Praktiki hesablamalarda əlavə sadələşmələr qəbul edərək, eniniə -uzununa dempfer dolaqları ilə təchiz olunmuş maşın və

turbopgeneratorlar üçün tərs ardıcıllıq müqaviməti növbəti bərabərliklə müəyyən olunur,

$$x_2 \approx x_d''$$

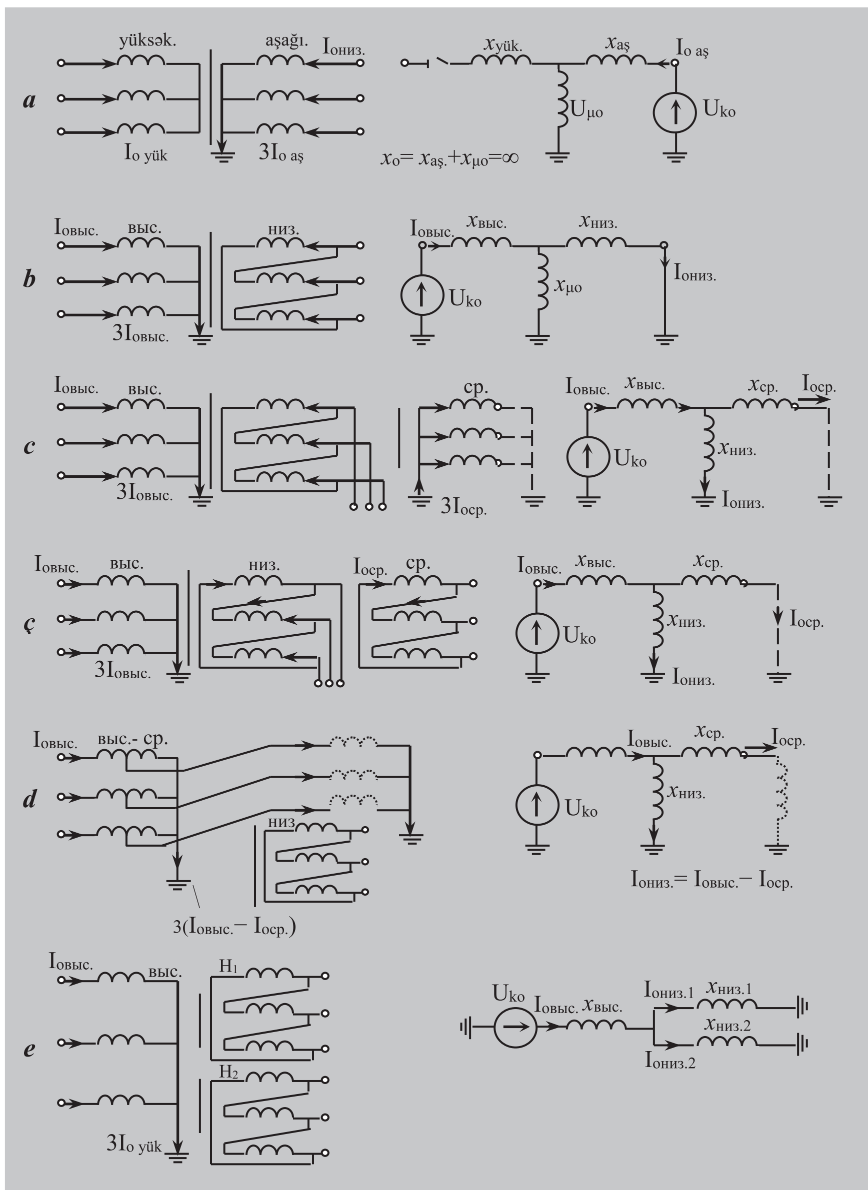
Sıfır ardıcıllıqlı cərəyanlar stator dolağında düz və əks ardıcıllıqlı cərəyanların yaratdığı maqnit selindən kiçik olan səpələnmə maqnit selini yaradır. Sıfır ardıcıllıq müqaviməti yalnız x_σ səpələnmə müqaviməti ilə təyin olunur və qiyməti düz ardıcıllıqdan kiçikdir. Bu azalma dolaqların tipindən asılı olaraq geniş həddə dəyişir, ($x_0 = 0.15\, x''_d$ – dən $0.6\, x''_d$ – ə qədər).

5.2.2. Transformatorlar və avtotransformatorlar

Transformatorların sıfır ardıcıllıqlı induktiv müqaviməti iki faktordan, onların konstruksiyası və dolaqlarının birləşmə sxemi ilə təyin olunur. Konstruktiv icrasına görə transformatorlar üç-, dörd-, beşçubuqlu və üç birfazlı qrup növünə bölünürlər.

Transformatorların dolaqlarının birləşmə sxeminə görə üçbucaq (Δ), neytralı yerlə birləşdirilmiş ulduz (Ұ) və neytralı yerdən izolyasiya olunmuş ulduz (Y) şəklində birləşdirilə bilərlər. Gücü çox da böyük olmayan, ikinci tərəf gərginliyi 0,4 kV olan transformatorların ikinci tərəf dolaqları bəzən ziqzaq şəklində birləşdirilir. Belə transformatorların xüsusiyyətlərinə [9]-da baxılıb.

Transformatorların sxem və birləşmə qrupları dövlət standartları ilə müəyyən olunur. Onlardan yalnız ən azı biri yerlə birləşdirilmiş neytralı olan transformatorlar sıfır ardıcıllıqlı müqavimətlə xarakterizə olunur (yerlə birləşdirilmiş neytralı olmayan hallarda sıfır ardıcıllq cərəyanı transformatorda sirkuliyasi etmədiyinə görə sıfır adrdıcıllıq müqviməti sonsuz böyük qiymətə malik olur). Belə transformatorlar üçün *şəkil 5.7*-də sol tərəfdə dolaqların birləşmə sxemləri, sağ tərəfdə isə sıfır ardıcıllığın əvəz sxemi təsvir olunub; $x_{\mu 0}$ – sıfır ardıcıllıq maqnitləndirmənin reaktiv müqavimətidir.



Şək. 5.7. Transformatorların və avtotransformatorların dolaqlarının birləşməsinin tipləri (solda) və sıfır ardıcıllıqlının əvəz sxemləri (sağda)

Dolaqların Y/Ұ sxemi üzrə birləşdirilməsi halında (*şəkil 5.7, a*) yüksək gərginlik tərəfdə sıfır ardıcıllıqlı cərəyanın axması üçün yol yoxdur, ona görə də yüksək gərginlik tərəfdə əvəz sxemi açıqdır və belə transformatorun müqaviməti aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$x_0 = x_{a\ell} + x_{\mu 0}.$$

burada, $x_{\mu 0}$ –in qiyməti transformatorun konstruksiyasından asılıdır.

Üç birfazalı transformatorlar qrupu və üçfazalı dörd və ya beş maqnitkeçiricilər üçün maqnitləndirmə cərəyanı olduqca kiçikdir və $x_{\mu 0} = \infty$-dur. Üçfazalı üç çubuqlu transformatorlar üçün $x_{\mu 0 * a\ell} = 0.3$ ... 1. Lakin, nəzərə alaraq ki, dolağın səpələnmə müqaviməti $x_{\mu 0}$-dan xeyli kiçikdir, o zaman bu halda da $x_{\mu 0} = \infty$ hesab etmək olar. Dolağın Ұ/Δ sxemi üzrə (şəkil 5.7, *b)* birləşdirilməsi zamanı transformatorun sıfır ardıcıllıqlı EHQ-si tamamilə üç bucağı birləşdirilmiş dolağın səpələnmə reaktivliyi vasitəsilə cərəyanın ötürülməsinə sərf olunacaq. Çünki cərəyan ondan kənara çıxmır.
Odur ki, əvəz sxemində $x_{a\ell}$ ilə budağı qapayırlar. Bu isə o deməkdir ki, bu budaqla sıfır ardıcıllıqlı cərəyanın axma yolu qurtarır.

Dolaqları Ұ/ Ұ/Δ birləşdirilmiş üçdolaqlı transformatorlar (*şək. 5.7, c*) üçün fərz edilir ki, orta gərginlik tərəfdə sıfır ardıcıllıqlı cərəyanın yolu
təmin olunub, yəni orta dolaqdan qidalanan şəbəkədə onun heç olmasa hər hansı bir transformatorunda bir yerlə birləşdirilmiş neytral vardır. Belə transformatorun sıfır ardıcıllıqlı əvəz sxeminə, hər bir dolağın U_{qq} –nə mütənasib olan düz ardıcıllıqlı müqaviməti daxil edilir. Üçdolaqlı transformatorlar üçün hər zaman hesab etmək olar ki, $x_{\mu 0} = \infty$.

Dolaqları Ұ/Δ/Δ birləşdirilmiş üçdolaqlı transformator (*şəkil* 5.7, *ç*) üçün əvəz sxemindən onun sıfır ardıcıllıqlı müqavimətini aşağıda verilən formul ilə hesablamaq olar:

$$x_0 = x_B + \frac{x_C x_N}{x_C + x_N}.$$

Avtotransformatorun əvəz sxemi (*şəkil 5.7, d*) üçdolaqlı transformatorun dolaqlarının neytralının müvafiq rejimi zamanı onun sxeminə oxşardır.

Nəhayət, aşağı gərginlik dolağı bölünmüş transformator (*şəkil 5.7, e*) üçün sıfır ardıcıllıqlı müqavimət aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$x_0 = x_{выс} + \frac{x_{низ1} x_{низ2}}{x_{низ1} + x_{низ2}}.$$

5.2.3. Hava və kabel xətləri

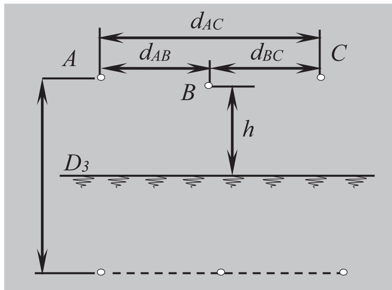
Hava xətlərinin sıfır adrıcıllıq müqaviməti qarşılıqlı induksiyanın fərqli yaranma təbiətinə görə düz ardıcıllıq müqvimətində əhəmiyyətli dərəcədə fərli olur. Sıfır ardıcıllıqlı cərəyan hava xəttinin naqilləri ilə axaraq neytralı yerlə birləşdirilmiş transformatorlar (mühafizə trosları, xətt boyu dəmir yolları və s.) vasitəsilə yerlə qapanır. Hava xəttinin sıfr ardıcıllıqı müqavimətinin təyin olunmasınn əsas çətinliyi yerdə cərəyanın paylanmasının nəzərə alınması ilə bağlıdır. Axırıncının təyin olunması mürəkkəb problemdir. Yerin elektrik keşriciliyinin sabitliyini və onun ölçülərininin qeyri məhdud olmasını qəbul etməklə cərəyanın paylanması problemi 50 Hs tezlikli sistemlər üçün Karson tərəfindən kifayyət qədər tam və ciddi həlli icra olunmuşdur. Belə xəttin induktivliyini təyin etmək üçün üçfazalı xətt üç ədəd ikinaqilli xətlə ("xətt – yer") təqdim olunmuş və xəttin naqilləri arasındakı məsafə - *cərəyanın yer vasitəsilə qayıtmasının ekvivalent dərinliyi* - Karson formulu ilə təyin olunmuşdur (*şəkil 5.8*):

$$D_{yer} = \frac{2.085}{\sqrt{f\lambda \cdot 10^{-9}}} 10^{-3} (м),$$

burada f – cərəyanın tezliyi, Hz;

λ – torpağın xüsusi keçiriciliyidir $(\text{Om}\cdot\text{sm})^{-1}$.

50 Hz və *λ=10⁻⁴ (Om·sm)⁻¹* orta qiyməti zamanı D_{yer} = *935 m*, praktiki hesabatlarda isə D_{yer} =*1000 m* qəbul edirlər.



Şək. 5.8. Xəttin sıfır ardıcılllıqlı müqavimətinin təyini üçün

Bir dövrəli üçfazalı xəttin sıfır ardıcıllıqlı müqaviməti xəttin hər bir naqilinə tətbiq olunan gərginliyin qiyməti ilə təyin olunmalıdır ki, faza naqillərindən *1 A* sıfır ardıcıllıqlı cərəyan axan zaman yaranan gərginlik düşgüsünü ödəsin. Aktiv müqavimət nəzərə alınmadığı halda bu müqavimət aşağıdakı formul ilə hesablanır (yəni $I_A = I_B = = I_C = 1A$):

$$x_0 = x_L + x_{M\,or} + x_{M\,or} = x_L + 2x_{M\,or}, \qquad (5.13)$$

burada $x_L = 0.145\lg\left(D_{yer}/r_{ekv}\right)$, Om/km –xəttin məxsusi induktivliyi;

$x_{M\,or} = 0.145\lg\left(D_{yer}/D_{or}\right)$, Om/km – qarşılıqlı induktivliyi;

$\boldsymbol{D}_{\mathbf{or}} = \sqrt[3]{\boldsymbol{d}_{AB}\boldsymbol{d}_{AC}\boldsymbol{d}_{bc}}$ - fazaların naqilləri arasında orta həndəsi məsafə;

r_{ekv} – naqilin növündən asılı olaraq, orta ekvivalent radiusudur

($r_{ekv} \approx 0,724 \div 0.95r$);

r - naqilin həqiqi radiusu.

Naqili bölünmüş xətlər üçün məxsusi induktivliyin ifadəsində r_{ekv} orta ekvivalent radiusun növbəti ifadə ilə təyin olunan r_{or} orta həndəsi radiusda istifadə olunur:

$$\boldsymbol{r}_{\mathbf{or}} = \sqrt[n]{\boldsymbol{r}_{ekv}\boldsymbol{a}_{or}^{n-1}},$$

burada, a_{or} – fazanın naqilləri arasında oerta həndəsi məsafə.

Yuxarıda qeyd olunan parametrləri (5-13) ifadəsində əvəz etsən asanlıqla sonuncunun digər formasını əldə etmək olar.

Qeyd etmək yerinə düşər ki, bir dövrəli üçfazalı xətdən *1 A* cərəyan axan zaman düz ardıcıllıqlı müqavimət aşağıdakı formul ilə hesablanır (yəni $\mathbf{I}_A = 1$, $\mathbf{I}_B = \mathbf{a}^2$, $I_C = \mathbf{a}$):

$$x_1 = x_L + ax_{M\,or} + a^2 x_{M\,or} = x_L - x_{M\,or}, \qquad (5.14)$$

Əgər (5.14)-nu (5.13) ifadəsi ilə müqayisə etsək, belə nəticə çıxarmaq olar ki, qarşılıqlı induksiya düz (tərs) ardıcıllıqlının müqavimətini azaldığına görə sıfır ardıcıllıqlı müqavimət düz (tərs) ardıcıllıqlıdan xeyli çoxdur. x_0 -ın qiyməti xəttin konstruksiyasından, ildrımdan mühafizə trosunun olmasından və onların sayından, həmçinin onların keçiriciliyindən (poladın keçiriciyi – pis, alüminiumunki - yaxşıdır) asılıdır.

Hava xəttinin əsas tipləri üzrə x_0 /x_1 müqavimətlərinin təqribi nisbəti aşağıdakı kimidir:

Xəttin xarakteristikası	x_0 /x_1	
	Bir dövrəli	İki dövrəli
Trossuz	3.5	5.5
Polad trosla	3.0	4.7
Yüksək keçiricilikli trosla	2.0	3.0

Torpaqlanmış tros qismən tutum müqavimətini azaldır. Bu əsasən sıfır ardıcıllıqlının parametrlərinə təsir edir.

Kabellər üzrə düz ardıcıllıqlı aktiv və induktiv müqavimətləri hava xətləri üzrə istifadə olunan ifadələrlə təyin etmək olar. Eyni zamanda, çox hallarda kabellərin həndəsi ölçüləri dəqiqi müəyyən olmadığına görə, adətən zavod göstəriciləri əsasında təyin olunur.

Kabellər adətən nosbətən kiçik dərinliklərdə (1 m-ə qədər) yerləşdirildiyinə və qayıdan cərəyanın yeraltı "naqil – yer" dövrəsində paylanması anoloji hava xətlərindəki kimi olduğuna görə sıfır ardıcıllıqlı müqavimətin kabel xətləri üzrə qiyməti hava xəttindən az fərqlənir və o, kabelin tipi, onun çəkilmə üsulu, örtüyün materialı və s. ilə təyin olunur. Sıfır ardıcıllıqlı cərəyanın qayıtma

yolundan (örtüklə yaxud örtük və yer ilə) asılı olaraq kabel üçün x_0-ın qiyməti $3,5x_1$-dən $4,6x_1$-ə qədər həddədir.

Qövssöndürücü sarğacın parametrlərini hesablayan zaman tutum müqavimətinin qiymətinin də bilinməsi zəruridir və aşağıda verilən təqribi ifadə ilə təyin olunur:

$$x_{C0} = \frac{96.5}{1.85 + 2r/(b+B)} 10^3 (Ом).$$

burada r – dairəvi damarın radiusu;

B və b – faza və qurşaq izolyasiyasının qalınlığıdır.

5.2.4. Çoxillik donmuş torpaqların xüsusi keçiriciliyinin elektrik verilişi xəttinin xüsusi parametrlərinə təsiri

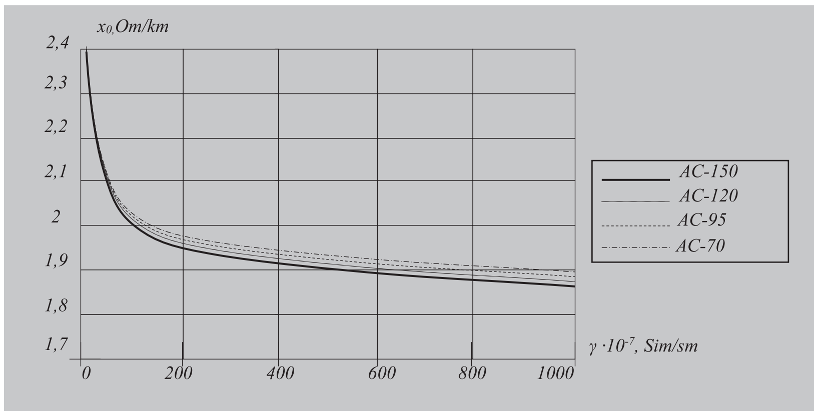
Çoxillik donmuş torpaqlar yüksək xüsusi müqavimətləri ilə xarakterizə olunurlar. Donmuş torpağın vəziyyətinin əsas göstəricisi – buz qatının olmasıdır. Buzlu sementin miqdarı xüsusi müqaviməti γ -nı təyin edir. Torpağın buzluluğundan əlavə ona temperatur və torpağın litoloji tərkibi təsir edir. Müxtəlif dərinliklərin xüsusi keçiriciliyinin ölçülməsi nəticəsində alınan geoelektrik kəsiliş yuxarıda göstərilən bütün amillərdən asılıdır.

Çoxillik donmuş torpaqların şaquli elektrik zondlama metodu ilə tədqiqi [34] onların mürəkkəb və müxtəlif olduğunu aşkar edir. Postsovet məkanının şimali – şərq rayonları üçün suxurların tipindən asılı olaraq torpağın xüsusi müqavimətinin dəyişmə diapazonu $0.7 \cdot 10^3$-dən 10^7 Om/sm-ə qədərdir. Bu həmçinin hava xəttinin (HX) sıfır ardıcıllıqlı müqavimətinin geniş həddə dəyişməsinə səbəb olur. Bu dəyişmənin dərəcəsi hava xəttinin tezliyi –f, torpağın keçiriciliyi –γ, hava xəttinin həndəsi ölçüləri, trosun olması və HX naqilinin materialı nəzərə alınaraq hava xəttinin uzununa və eninə parametrlərinin hesabatı nəticəsində aşkar olunur.

Avropanın şimal (soyuq) rayonlarının 110/154 kV-luq EVX naqillərinin en kəsikləri və tipləri üçün sıfır ardıcıllıqlı müqavimətlərin hesabatının nəticəsi əsasında $x_0 = f(\gamma)$ dəyişmə xarakteri təyin olunmuşdur (şəkil 5.9). Bu gərginlik sinfində olan

xətlər ağac dayaqlarda trossuz tikildiyinə görə sıfır ardıcıllıqlı xüsusi induktiv müqaviməti normal torpağa müvafiq keçiricilik ($\gamma = 10^{-4}$ S/sm) zamanı 1.85 .... 1.88 Om/km təşkil edir. Beləliklə, torpağın keçiriciliyinin azalması sıfır ardıcıllıqlı xüsusi induktiv müqavimətin xeyli artmasına səbəb olur (2.0....2.4 Om/km-ə qədər).

Hesabatla həmçinin, məlum müddəaları, yəni sıfır ardıcıllıqlı aktiv müqavimətin torpağın keçiriciliyindən asılı olmadığı, ancaq naqilin enkəsiyi ilə təyin olunduğu və 0.35....0.59 Om/km həddində olduğu təsdiq edilir.



Şək. 5.9. Sıfır ardıcıllıqlı müqavimətin torpağın keçiriciliyindən asılılığı

5.2.5. Asinxron mühərriklər və ümumiləşdirilmiş yük

Əgər normal iş rejimlərdə asinxron maşınlar (AM) *s* sürüşməsi ilə işləyirlərsə, əks ardıcıllıqlı maqnit selinə nisbətən asinxron mühərrikin rotoru $s_{(2)} = 2 - S$ sürüşməsinə malikdir. Yəni AM-in əks ardıcıllıqlı müqaviməti *2-s* sürüşməsi halında malik olduğu müqavimətlə təqdim olunur. Asinxron mühərrikin müqavimətinin sürüşmədən təqribi asılılığı *şək. 5.10* göstərilib.

Sürüşmə artdıqca reaktivlik x_S əvvəlcə kəskin azalır. Sürüşmənin $s = 1$-dən $s = 2 - s_{nom}$-a qədər hədlərində müqavimət x_S reaktivliyinin azalması kiçikdir, ona görə də hesab etmək olar ki,

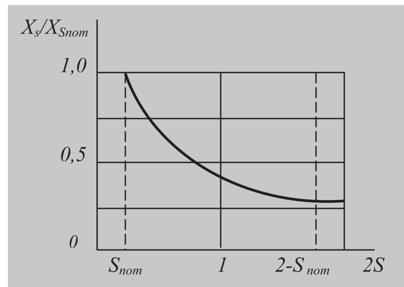
$$x_2 = x_{S=1} = x_K.$$

Reaktivlik x_K mühərrikin işə salma cərəyanına tərs mütənasibdir:

$$\boldsymbol{x}_2 = \frac{1}{\boldsymbol{I}_P}$$

Asinxron mühərrikin sıfır ardıcıllıqlı reaktiv müqaviməti yalnız stator dolağının səpələnməsi ilə təyin olunur. O, mühərrikin tipindən və konstruksiyasından asılıdır və hər dəfə təcrübi təyin olunmalıdır.

Ümumiləşdirilmiş yükün əks ardıcıllıqlı reaktiv müqaviməti onun xarakterindən asılıdır.Əsasən, asinxron mühərriklərdən ibarət olan tipik sənaye yükü üçün əks ardıcıllığın reaktivliyi, rejimin pozulmasının ilk anında malik olduğu qiyməti ilə eynidir ($x_{2yük}$ = 0.35).



Şək. 5.10. Asinxron mühərrikin əks-ardıcılllıqlı müqavimətinin təyini üçün

Bu müqavimət yükün tam işçi gücünə və onun qoşulduğu pillənin orta nominal gərginliyinə aid edilib. Ümumiləşdirilmiş yükün sıfır ardıcıllıqlı müqaviməti onun birləşmə sxemi və onun tərkibinə daxil olan transformatorlarla təyin olunur. Bu müqavimət yalnız paylayıcı şəbəkənin yükünün ekvivalentlənməsi ilə alına bilər.

5.3. DÜZ, ƏKS VƏ SIFIR ARDICILLIQLARIN ƏVƏZ SXEMLƏRİ

İstənilən qeyri – simmetrik rejimin simmetrik mürəkkəbələri metodu ilə hesablanmasının ilk mərhələsi düz, əks və sıfır ardıcıllıqlı

sxemlərin tərtib edilməsini tələb edir. Bu məsələnin analitik həlli məqsədilə, sxemləri çevirərək QQ nöqtəsinə nəzərən bütün ardıcıllıqlar üzrə yekun müqavimətlər tapılır, düz ardıcıllıq sxemindən isə bundan əlavə eyni nöqtəyə nəzərən yekun EHQ-ni təyin edili.

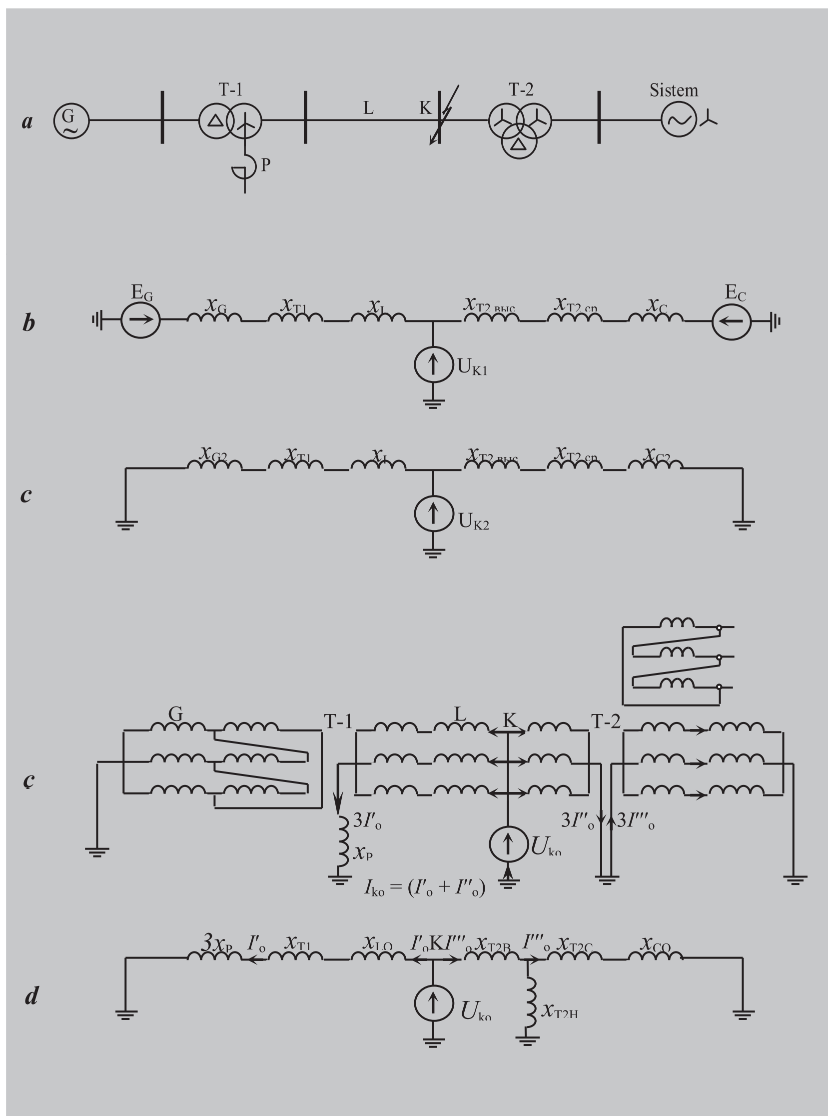
Düz ardıcıllıq sxemini, simmetrik rejimin hesablanması üçün tətbiq edilən qaydada (məs. üçfazalı QQ) tərtib edilir. Tətbiq olunan metoda görə, zamanın anından asılı oaraq, generator və yüklər müvafiq reaktivlik və EHQ ilə digər elementlər isə sabit müqavimətlərlə əvəz sxeminə daxil edilir.

Əks – ardıcıllıq sxeminin konfiqurasiyası, əks ardıcıllıqlı cərəyanın hərəkət trayektoriyası düz ardıcıllıqlı ilə eyni olduğuna görə əvəz sxemləri oxşardır. Fərq yalnız, bu halda bütün generasiya budaqlarının EHQ-lərinin sıfıra bərabər qəbul edilməsində və elektrik maşınlarının düz ardıcıllıqlı müqavimətinin isə əks ardıcıllıqlı müqavimətlə əvəz olunmasındadır.

Sıfır ardıcıllıq sxemi düz və əksin sxemindən xeyli fərqlənir, ona görə ki, onun cərəyanının axma yolu düz və əks ardıcıllıqlının cərəyanının dövr etdiyi yoldan tamamilə fərqlənir. Bu sxemlər əsasən transformator və avtotransformatorların dolaqlarının birləşmə sxemləri ilə təyin olunur

Misal qismində prinsipial sxemi *şək. 3.2*-də göstərilən elektrik sistemi üçün düz, əks və sıfır ardıcıllıqlının sxemlərinin tərtib olunmasına baxaq. Belə hesab edək ki, QQ *K*2 nöqtəsində baş vermişdir və *A*5, *A*4 və *A*3 açarları açılmışdır (*şək. 5.11*).

Sıfır ardıcıllıqlı cərəyanın dövr etməsi ancaq şəbəkənin sxemində ən azı bir yerdə neytralın yerlə birləşdirildiyi halda mümkündür. Əgər belə neytrallar bir neçə yerdə olarsa, onda bir neçə qapalı kontur yaranır. Transformatorun neytralına qoşulmuş element (reaktor – R) əvəz sxeminə özünün üçqat müqaviməti ilə daxil edilir. Bu onunla izah olunur ki, neytraldan üçqat cərəyan axır və reaktorun müqavimətində gərginlik düşgüsü $3I'_0\, x_r$ birxətli əvəz sxemində təmin olunmalıdır. Xəttin sıfır ardıcıllıqlı müqaviməti düz ardıcıllıqlının müqavimətindən xeyli fərqlənir, ona görə də o sxemə x_{L0} qiyməti ilə daxil edilmişdir. Əgər sxemdə HX-nin bir neçə paralel dövrəsinə rast gəlinirsə, onda onların arasında qarşılıqlı induksiyanı nəzərə almaq üçün [2, əlavə 8]-də göstərilən əvəz sxemindən istifadə olunur.



Şək. 5.11. Müxtəlif ardıcıllıqların əvəz sxemi: a – sistemin prinsipial sxemi; b, c – düz və əks ardıcıllıqların sxemi; ç,d – sıfır ardıcıllıqlının üçxətli və birxətli xemləri.

Düz, əks və sıfır ardıcıllıqlı sxemlərin başlanğıcı sıfır potensiallı budaqların bir yerə birləşdirildiyi nöqtədir. *Hər hansı bir ardıcıllıq sxeminin sonu* – qeyri – simmetrikliyin yarandığı nöqtədir. Uzununa qeiri – simmetriklik zamanı hər sxemin iki sonluğu olur və onların arasında qeyri – simmetriklik mənbəyi yerləşir.

5.4. BİRQAT ENİNƏ QEYRİ SİMMETRİKLİK

Sistemin istənilən nöqtəsində eninə qeyri-simmetrliklik ümumi şəkildə, bu nöqtədə qiymətləri eyni olmayan müqavimətlərin birləşməsi kimi, təsvir oluna bilər. Belə hal ümumi formada həllin tapılmasına imkan verir. Xüsusi hallar ümumi həllərdən alına bilər. Eyni zamanda, qeyd edək ki, ümumi hal, hətta qarşılıqlı induksiya müqavimətlərinin nəzərə alınmaması halında belə mürəkkəb tənliklərlə ifadə olunur. Bu səbəbdən, sadə və aydın həllərə nail olunması üçün ayrılıqda qeyri-simmetrikliyin növlərinə və onu xarakterizə edən sərhəd şərtlərindən istifadə daha məqsədəuyğun hesab olunur.

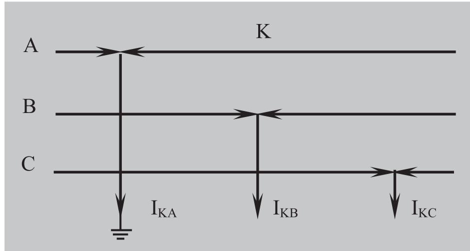
Üç növ qeyri simmetrik QQ-yə baxaq: birfazlı, ikifazlı və yerlə ikifazlı. QQ yerində cərəyan və gərginliklər bu yerdəki sərhəd şərtləri nəzərə alınmaqla təyin olunur. Onların yazılması zamanı qəbul olunur ki, *A* fazası *B* və *C* fazasından fərqli şəraitdə yerləşir, yəni *xüsusi fazadır*. Cərəyanın müsbət istiqaməti kimi, QQ nöqtəsinə tərəf istiqamət qəbul olunur. Gərginlik və cərəyanın yalnız əsas harmonikasına baxılır və müxtəlif ardıcıllıqlar üzrə sxemlər reaktivliklərdən ibarətdir və QQ nöqtəsinə nəzərən elementar formaya gətrilmişdir, yəni yekun EHQ və reaktivliklər tapılmışdır. Həmçinin, cərəyanlar üçün ifadələr qısaqapanma yerinin – metalik olması şərti ilə alınmışdır.

Qövsün müqavimətinin nəzərə alınması ilə hesablamalar [2, səh. 322]-də verilibdir.

İfadələri sadələşdirmək üçün, sərhəd şərtləri və yekun ifadələr istisna olamqla digər ifadələrdə QQ növünü göstərən indeks buraxılmışdır.

5.4.1. Birfazlı qısaqapanma

A fazında qısaqapanma yerində sərhəd şərtləri (*şək. 5.12*) aşağıda verilir:



$$\mathbf{U}_{KA}^{(1)} = 0, \qquad (5.15)$$

$$\mathbf{I}_{KB}^{(1)} = 0, \qquad (5.16)$$

$$\mathbf{I}_{KC}^{(1)} = 0, \qquad (5.17)$$

Şək. 5.12. Birfazalı QQ yerində cərəyanlar.

(5.15) və (5.17) şərtləri imkan verir ki, müxtəlif ardıcıllıqların cərəyanları üzrə aşağıdakı nisbətləri ((5.10) – (5.12) nəzərə alınmaqla) alaq:

$$\mathbf{I}_{KA1} = \mathbf{I}_{KA2} = \mathbf{I}_{K0} = \frac{1}{3}\mathbf{I}_{KA} \qquad (5.18)$$

Cərəyanların qarşılıqlı əlaqə əmsalı $m^{(1)}$=I_{kA}/I_{A1}=*3* olacaqdır. (5.15) nəzərə alınmaqla QQ yerində *A* fazının gərginliyini aşağıdakı kmi ifadə etmək olar:

$$\mathbf{U}_{KA} = \mathbf{U}_{KA1} + \mathbf{U}_{KA2} + \mathbf{U}_{K0} = 0 \qquad (5.19)$$

(5.19) ifadəsində müxtəlif ardıcıllıqlar üzrə gərginlikləri (5.10) – (5.12) ifadələrinə uyğun əvəz edərək və (5.18) ifadəsini nəzərə alsaq,

$$\mathbf{E}_{A\Sigma} - j\mathbf{I}_{KA1}\left(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}\right) = 0$$

bərabərliyini alarıq, buradan qəza baş vermiş *A* fazı üçün cərəyanın düz ardıcıllıqlı mürəkkəbəsinin ifadəsi aşağıdakı şəkli alacaq:

$$\mathbf{I}_{KA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}\right)}.$$

Bu ifadəyə daxil olan yekun EHQ $E_{A\Sigma}$ və $x_{1\Sigma}$, $x_{2\Sigma}$, $x_{0\Sigma}$ müqavimətləri sxemin başlanğıc və sonuna nisbətən təyin olunur. Düz, əks və sıfır ardıcıllıqların sxemlərinin (bax *şək. 5.11,b-ç*) çevrilməsi *şək. 5.13*-də göstərilən ekvivalent sxemləri almağa imkan verir.

Bu sxemlərdə EHQ və müqavimət aşağıdakı kimi hesablanır (*şək. 5.11*-dəki işarələmələr nəzərə alınmaqla):

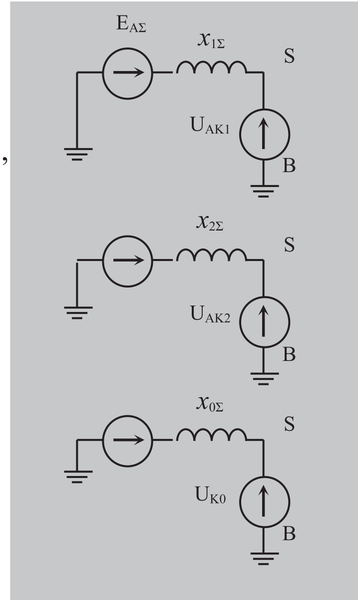
$$E_{A\Sigma} = \frac{E_G\left(x_{T2выс} + x_{T2ср} + x_C\right) + \left(x_G + x_{T1} + x_L\right)}{x_G + x_{T1} + x_L + x_{T2b} + x_{T2C} + x_C},$$

$$x_{1\Sigma} = \frac{\left(x_G + x_{T1} + x_L\right)\left(x_{T2b} + x_{T2C} + x_C\right)}{x_G + x_{T1} + x_L + x_{T2выс} + x_{T2ср} + x_C},$$

$$x_{2\Sigma} = \frac{\left(x_{G2} + x_{T1} + x_L\right)\left(x_{T2выс} + x_{T2ср} + x_{C2}\right)}{x_{G2} + x_{T1} + x_L + x_{T2выс} + x_{T2ср} + x_{C2}},$$

$$x_{0\Sigma} = \frac{\left(3x_P + x_{T1} + x_{L0}\right)\left(x_{T2в} + x_{T-C}\right)}{3x_P + x_{T1} + x_{L0} + x_{T2в} + x_{T-C}},$$

burada $$x_{T-C} = \frac{\left(x_{T2c} + x_{C0}\right)x_{T2H}}{x_{T2c} + x_{C0} + x_{T2H}}.$$



Şək.l 5.13. Düz (a), əks (b) sıfır (c) ardıcıllıqaların ekvivalent sxemləri.

Düz ardıcıllıqlı cərəyanı bilərək zədələnmiş fazda tam cərəyanı (5.18) ifadəsinə görə təyin edə bilərik:

$$\mathbf{I}_{KA} = 3\mathbf{I}_{KA1} = \frac{3\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})}. \qquad (5.20)$$

Bu cərəyan, həmçinin QQ nöqtəsində yerə axan cərəyandır.

QQ yerində gərginliyin simmetrik mürəkkəbələri (5.10) – (5.12) ifadələrinə müvafiq olaraq növbəti formullarla hesablanır:

$$\mathbf{U}_{K0} = -jx_{0\Sigma}\mathbf{I}_{K0} = -jx_{0\Sigma}\mathbf{I}_{KA1},$$

$$\mathbf{U}_{KA2} = -jx_{2\Sigma}\mathbf{I}_{K2} = -jx_{2\Sigma}\mathbf{I}_{KA1}, \qquad (5.21)$$

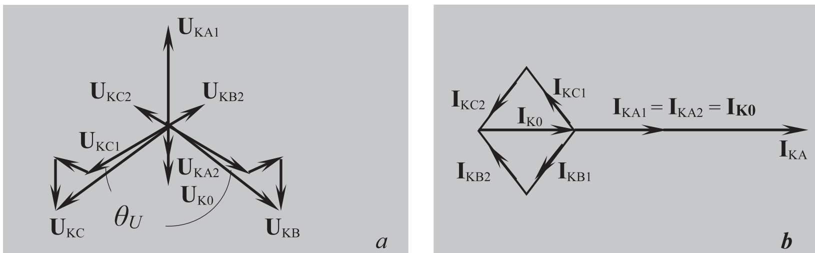
$$\mathbf{U}_{KA1} = -\left(\mathbf{U}_{KA2} + \mathbf{U}_{K0}\right) = j(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})\mathbf{I}_{KA1},$$

QQ yerində zədələnməyən *B* və *C* fazlarının qalıq gərginlikləri isə aşağıdakı ifadələrlə hesablanır:

$$U_{KB} = \mathbf{a}^2\mathbf{U}_{KA1} + \mathbf{a}\mathbf{U}_{KA2} + \mathbf{U}_{K0} = j\left[(\mathbf{a}^2 - \mathbf{a})x_{2\Sigma} + \left(\mathbf{a}^2 - 1\right)x_{0\Sigma}\right]\mathbf{I}_{KA1},$$

$$\mathbf{U}_{KC} = j\left[(\mathbf{a}^2 - \mathbf{a})x_{2\Sigma} + \left(\mathbf{a} - 1\right)x_{0\Sigma}\right]\mathbf{I}_{KA1}.$$

QQ yerindəki gərginlik və cərəyanların vektor diaqramaları *şəkil 5.14*-də göstərilib. Birfazlı QQ üzrə münasibətləri təhlil edərək, qrafikin qurulmasını, məsələn, birfazlı QQ düz ardıcılıqlı cərəyanından başlamaq olar.



Şəkil 5.14. Birfazlı QQ yerindəki gərginliklərin (a) və cərəyanların (b) vektor diaqramları

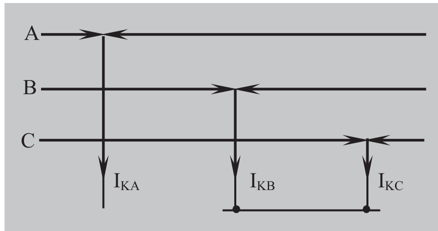
Sonra isə məlum münasibətləri və düz, tərs və sıfır ardıcıllığın təriflərinə uyğun digər vektorlar qurulur. Faz cərəyanları müvafiq ifadələrə uyğun olaraq, onların mürəkkəbələrinin həndəsi cəmi kimi, təyin olunur.

QQ yerində gərginliklər üçün qrafiklər də anoloji olaraq qurulur. Qrafiklərin qurulması zamana nəzərə almaq lazımdır ki, cərəyanlar induktivdir , aktiv müqavimət nəzərə alınmır.

Zədələnməmiş *B* və *C* fazlarının gərginlikləri arasındakı θ_U bucağı $x_{2\Sigma}$ və $x_{0\Sigma}$ müqavimətlərinin nisbətindən asılı olaraq, $60^o \leq \theta_U \leq 180^o$ çərçivəsində dəyişir. Aşağı hədd qiyməti $x_{0\Sigma} \to \infty$, yuxarı hədd qiyməti isə $x_{0\Sigma} \to 0$ sıfıra yaxınlaşdıqda alınır. Bu müqavimətlərin biri-birinin bərabərliyi halında $\theta_U = 120^o$.

5.4.2. İkifazlı qısaqapanma

QQ yerinin yerlə əlaqəsi və sıfır ardıcıllıq cərəyanın axması üçün yol olmadığına görə qısaqapanma yerində sərhəd (*şək. 5.15*) şərtini aşağıdakı şəkldə yazmaq olar:



$$\mathbf{I}_{KA}^{(2)} = 0,$$
$$\mathbf{I}_{KB}^{(2)} = -\mathbf{I}_{KC}^{(2)}, \qquad (5.22)$$
$$\mathbf{U}_{KB}^{(2)} = \mathbf{U}_{KC}^{(2)},$$

Şəkil 5.15. İkifazlı QQ yerində cərəyanlar

Yerlə əqaqənin olmamsı növbəti əlavə şərtləri yazamağa imkan verir;

$$\mathbf{U}_{K0} = 0, \quad \mathbf{I}_{K0}.$$

Cərəyanlar sistemi tarazlaşmış, yəni faz cərəyanlarının cəmi sıfıra bərabər olduğuna görə (5.1) ifadəsinə müvafiq olaraq (5.22)

sərhəd şərtlərinin birinici ifadəsini *A* fazı üzrə simmetrik mürəkkəbələr vasitəsilə növbəti şəkildə yazmaq olar:

$$\mathbf{I}_{KA} = \mathbf{I}_{KA1} + \mathbf{I}_{KA2} = 0,$$

buradan

$$\mathbf{I}_{KA1} = -\mathbf{I}_{KA2}. \qquad (5.23)$$

bərbərliyini alırıq.

Zədələnmiş fazın gərginliyini *A* faz gərginliyinin simmetrik mürəkkəbələri vasitəsi ilə ifadə edərək və sərhəd şərtləri, (5.22)-nin sonuncu bərabərliyini növbəti şəkildə ifadə etmək olar:

$$\mathbf{a}^2\mathbf{U}_{KA1} + \mathbf{a}\mathbf{U}_{KA2} + \mathbf{U}_{K0} = \mathbf{a}\mathbf{U}_{KA1} + \mathbf{a}^2\mathbf{U}_{KA2} + \mathbf{U}_{K0},$$

onda

$$\mathbf{U}_{KA1}\left(\mathbf{a}^2 - \mathbf{a}\right) + \mathbf{U}_{KA2}\left(\mathbf{a} - \mathbf{a}^2\right) = \left(\mathbf{a}^2 - \mathbf{a}\right)\left(\mathbf{U}_{KA1} - \mathbf{U}_{KA2}\right) = 0.$$

$\left(\mathbf{a}^2 - \mathbf{a}\right) \neq 0$ olduğuna görə,

$$\mathbf{U}_{KA1} = \mathbf{U}_{KA2}. \qquad (5.24)$$

Bu bərabərlik imkan verir ki, (5.10) və (5.11)-nin sağ tərəfini bərabərləşdirək, yəni $\mathbf{E}_{A\Sigma} - jx_{1\Sigma}\,\mathbf{I}_{KA1} = -jx_{2\Sigma}\mathbf{I}_{KA2}$, buradan (5.23) ifadəsini nəzərə amaqla aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\mathbf{I}_{KA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma}\right)}. \qquad (5.24a)$$

QQ yerində zədələnmiş fazların cərəyanı aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\mathbf{I}_{KB} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{KA1} + \mathbf{a}\mathbf{I}_{KA2} = \left(\mathbf{a}^2 - \mathbf{a}\right)\mathbf{I}_{KA1} = -j\sqrt{3}\mathbf{I}_{KA1} = \frac{-j\sqrt{3}\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma}\right)},$$

$$\mathbf{I}_{KC} = -\mathbf{I}_{KB} = j\sqrt{3}\mathbf{I}_{KA1} = \frac{j\sqrt{3}\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma}\right)}. \qquad (5.25)$$

Zədəli fazın və xwsusi A fazının düz ardıcıllıq cərəyanları arasında qarşılıqlı əlaqə əmsalı $m^{(2)} = |\mathbf{I}^{(2)}_{(KB)} / \mathbf{I}^{(2)}_{KA1}| = \sqrt{3}$ olacaqdır.

Praktiki hesablamalarda, $x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma}$, cərəyanın modulnu bu nöqtədə üçfazlı QQ cərəyanı vasitəsilə ifadə etmək olar:

$$\mathbf{I}^{(2)}_{K} = \frac{\sqrt{3}\mathbf{E}_{A\Sigma}}{2x_{1\Sigma}} \approx 0,87\mathbf{I}^{(3)}_{K}.$$

QQ yerində faz gərginlikləri aşağıdakı formullarla təyin olunur,

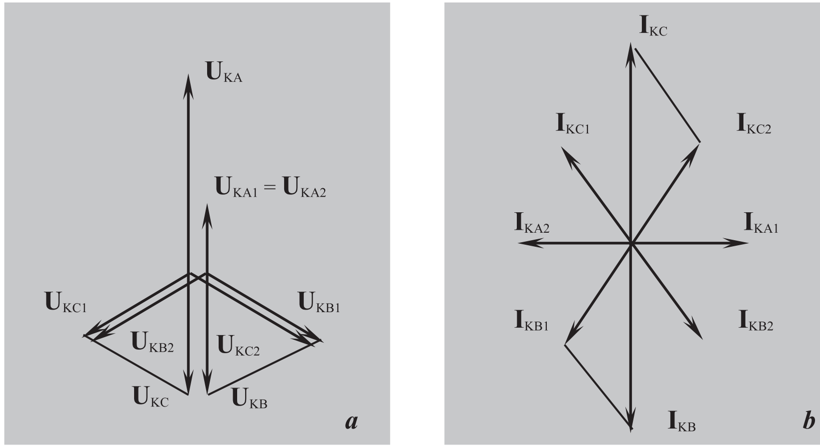
$$\mathbf{U}_{KA} = \mathbf{U}_{KA1} + \mathbf{U}_{KA2} = 2\mathbf{U}_{KA2} = 2jx_{2\Sigma}\mathbf{I}_{KA1}, \qquad (5.26)$$

$$\mathbf{U}_{KB} = \mathbf{U}_{KC} = \mathbf{a}^2\mathbf{U}_{KA1} + a\mathbf{U}_{KA2} = -\mathbf{U}_{KA1} = -\frac{\mathbf{U}_{KA}}{2}.$$

Cərəyan və gərginliyin QQ yerindəki simmetrik mürəkkəbələri üçün alınmış, müvafiq olaraq (5.23) və (5.24) ifadələri QQ yerində vektor diaqramlarının (*şəkil 5.16*) qurulmasına imkan verir.
Cərəyan diaqramasının qurulması üçün EHQ vekorunu xəyali qəbul edərək ($\mathbf{E}_{\Sigma} = jE_{\Sigma}$), (5.24a) ifadəsinə uyğun olaraq $\mathbf{I}_{\mathbf{Ka1}}$ vekorunu həqiqi (+1) oxu üzrə müqyasına uyğun olaraq qeyd edərək digər fazlar üzrə, $\mathbf{I}_{\mathbf{Kb1}}$ vektorunu -120, $\mathbf{I}_{\mathbf{Kc1}}$ vektorunu isə 120 sürüşmə ilə diaqramda qeyd edirik.

Tərs ardıcıllıq cərəyan vektorları sistemi düz ardıcıllıqla razılaşdırılır. (5.18) ifadəsinə görə $\mathbf{I}_{Ka1} = -\mathbf{I}_{Ka2}$ modulca bərabər bucağa görə isə biri-birindən 180^0 sürüşmüşdür. Eyni adlı simmetrik mürəkkəbələrin həndəsi cəmi cərəyanın yekun vektorunu verir. *A* fazında cərəyan sıfır bərabərdir. Digər fazlar üzrə qrafikdə göstərlir.

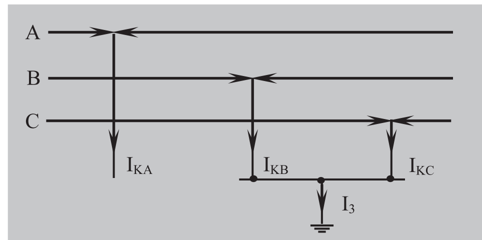
Analoji olaraq *gərginlik diaqramması* cərəyan diaqrammasına uyğunlaşdırılaraq qurulur.



Şək. 5.16. İkifazalı QQ yerindəki gərginlik (a) və cərəyanların (b) vektor diaqramları

5.4.3. İkifazlı yerlə qısaqapanma

Eyni zamanda iki fazın yerlə qısaqapanma halı üçün QQ yerində sərhəd şərtləri (*şək. 5.17*) aşağıdakılardır:



Şəkil 5.17. Yerdə ikifazalı QQ yerində cərəyanlar

$$\mathbf{I}_{KA}^{(1.1)} = 0,$$
$$\mathbf{U}_{KB}^{(1.1)} = 0, \quad (5.27)$$
$$\mathbf{U}_{KC}^{(1.1)} = 0.$$

Zədələnməmiş A fazı üzrə cərəyanı (5.27) şərhəd şərtlərinin birinci ifadəsinə uyğun olaraq növbəti şəkildə yaza bilərik:

$$\mathbf{I}_{KA1} + \mathbf{I}_{KA2} + \mathbf{I}_{K0} = 0. \qquad (5.28)$$

(5.27) şərtlərinin sonunci iki ifadəsi aşağıdakı nisbətləri yazmağa imkan verir:

$$\mathbf{U}_{KA1} = \mathbf{U}_{KA2} = \mathbf{U}_{K0} = \frac{1}{3}\mathbf{U}_{KA}. \qquad (5.29)$$

(5.10) - (5.12) bərabərliklərini cərəyanların simmetrik mürəkkəbələrinə nisbətən həll edərək və (5.29) ifadəsini nəzərə alaraq:

$$\mathbf{I}_{\mathrm{KA1}} = \frac{\mathbf{E}_{\Sigma} - \mathbf{U}_{KA1}}{jx_{1\Sigma}},$$

$$\mathbf{I}_{\mathrm{KA2}} = -\frac{\mathbf{U}_{KA1}}{jx_{2\Sigma}}, \qquad (5.30)$$

$$\mathbf{I}_{\mathrm{KA0}} = -\frac{\mathbf{U}_{KA1}}{jx_{0\Sigma}}.$$

(5.28) ifadəsində tərs və sıfır ardıcıllıqlı cərəyanları (5.30) asıllıqları ilə əvəz edilməsi, gərginliyin simmetrik mürəkkəbələri üçün hesablama ifadələrinin əldə olunmasına imkan verir:

$$\mathbf{U}_{KA1} = \mathbf{U}_{KA2} = \mathbf{U}_{K0} = \mathbf{I}_{KA1} j\frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} = \mathbf{I}_{KA1} j(x_{2\Sigma} // x_{0\Sigma}). \qquad (5.31)$$

Cərəyanın simmetrik mürəkkəbələrinin hesablanması məqsədlə, (5.30) bərabərlikləri sisteminin hər birində (5.31) asıllıqlarını nəzərə alaraq növbəti ifadəni yaza bilərik:

$$\mathbf{I}_{KA1}=\frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma}+\dfrac{x_{2\Sigma}x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}\right)},$$

$$\mathbf{I}_{KA2}=-\mathbf{I}_{KA1}\frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}, \qquad (5.32)$$

$$\mathbf{I}_{K0}=-\mathbf{I}_{KA1}\frac{x_{2\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}.$$

QQ yerində zədələnmiş fazların cərəyanları, nəticə etibarı ilə düz ardıcıllıqlı cərayanlar vasitəsilə aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\mathbf{I}_{KB}=\mathbf{a}^2\mathbf{I}_{KA1}+\mathbf{a}\mathbf{I}_{KA2}+\mathbf{I}_{K0}=\mathbf{a}^2\mathbf{I}_{KA1}-\mathbf{a}\mathbf{I}_{KA1}\frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}-$$

$$-\mathbf{I}_{KA1}\frac{x_{2\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}=\left(\mathbf{a}^2-\frac{x_{2\Sigma}+\mathbf{a}x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}\right)\mathbf{I}_{KA1}, \qquad (5.33)$$

$$\mathbf{I}_{KC}=\left(\mathbf{a}-\frac{x_{2\Sigma}+\mathbf{a}^2x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}\right)\mathbf{I}_{KA1}, \qquad (5.34)$$

(5.33) və (5.34)-də $\mathbf{I}_{KA1}$ qarşısında duran komplekslərin modullarını təyin edərək, zədələnmiş fazın cərəyanının qiymətini əldə edirik:

$$\mathbf{I}_{KB}=\mathbf{I}_{KC}=\sqrt{3}\mathbf{I}_{A1}\sqrt{x_{2\Sigma}^2+x_{2\Sigma}x_{0\Sigma}+x_{0\Sigma}^2}\,/\,(x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}).$$

Əmsalların modulları eyni olduğundan cərəyanların qarşılıqlı əlaqə əmsalı:

$$m^{(1.1)}=|\mathbf{I}_{kB}^{(1.1)}/\mathbf{I}_{kA1}^{(1.1)}|=|\mathbf{I}_{kC}^{(1.1)}/\mathbf{I}_{kA1}^{(1.1)}|=\sqrt{3}\sqrt{1-\frac{x_{2\Sigma}x_{0\Sigma}}{\left(x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}\right)^2}}. \qquad (5.35)$$

Əks ($x_{2\Sigma}$) və sıfır ($x_{0\Sigma}$) ardıcıllıqlı müqavimətlərin nisbətindən asılı olaraq əmsalın qiyməti, $1,5 \le m^{(1.1)} \le \sqrt{3}$ hədlərində dəyişir, $x_{2\Sigma} = x_{0\Sigma}$ olduqda aşağı səhəd qiymətini, $x_{2\Sigma}$ / $x_{2\Sigma}$ nisbətinin 0 və ya ∞ olduqda isə yuxarı sərhəd qiymətini alır.

(5.29) ifadəsini nəzərə alaraq, QQ yerində zədələnməyən faz üçün gərginliyin həqiqi qiymətini növbəti bərabərliklə təyin edirik:

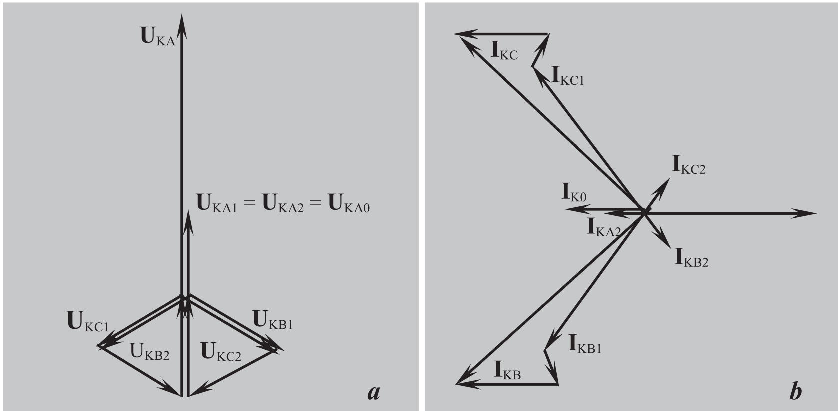
$$\mathbf{U}_{\mathbf{kA}}^{(\mathbf{1.1})} = \mathbf{U}_{\mathbf{kA\,1}} + \mathbf{U}_{\mathbf{kA\,2}} + \mathbf{U}_{\mathbf{kA\,0}} = 3\mathbf{U}_{\mathbf{kA}1}^{(1.1)},$$

Digər fazlar üzrə gərginliklər sıfıra bərabər olacaqdır. Yerə axan cərəyan, zədələnmiş fazların cərəyanlarınını cəminə bərabər olacaqdır:

$$\mathbf{I}_3 = \mathbf{I}_{KB} + \mathbf{I}_{KC} = 3\mathbf{I}_{K0}.$$

Qeyd edək ki, $x_{0\Sigma} \to \infty$ olduqda yerlə ikifazlı QQ adi ikifazlı qısaqapanmaya keçir.

QQ yerindəki gərginlik və cərəyanların vektor diaqramları *şəkil 5.18*-də göstərilib. Zədələnmiş fazların cərəyanları arasındakı θ_I



Şəkil 5.18. Yerlə ikifazalı QQ yerində gərginlik (a) və cərəyanların (b) vektor diaqramları

bucağı $x_{2\Sigma}$ və $x_{0\Sigma}$ müqavimətlərinin nisbətindən asılı olaraq, $60^o \leq \theta_İ \leq 180^o$ çərçivəsində dəyişir, $x_{0\Sigma}$ sıfıra yaxınlaşdıqda aşağı hədd qiymətini, $x_{0\Sigma}$ sonsuzluğa yaxınlaşdıqda isə yuxarı hədd qiymətini alır və bu hal ikifazlıyerlə əlaqəsi olmayan QQ-ya uyğundur.

Şəkildən göründüyü kimi, gərginliyin vektor diaqramı ikifazlı QQ halında cərəyanın vektor diaqramasına oxşardır. Belə analogiya cərəyanın vektor diaqramması üçün də mövcuddur.

5.4.4. Qeyri – simmetrik qısaqapanma cərəyanının hesablama alqoritmi

Yuxarıda qeyd olunan cərəyanın və gərginliyin simmetrik mürəkkəbələrini nəzərdən keçirərək, belə nəticəyə gəlmək olar ki, cərəyanının tərs və sıfır adıcıllıqlı və gərginliyin bütün ardıcıllıqlı mürəkkəbələri QQ nöqtəsində cərəyanının düz ardıcıllıqlı mürəkkəbəsi ilə düz mütənasibdir. Başqa sözlə, istənilən qeyri – simmetrik QQ-nin hesablanması baxılan QQ-nin düz ardıcıllıqlı cərəyanının təyin olunması məsləsi kimi baxıla bilər.

Qeyri – simmetrik QQ yerindəki cərəyanlar üçün olan ((5.15), (5.19), (5.28) və (5.29) ifadələrin strukturu istənilən qeyri – simmetrik QQ cərəyanının hesabatı üçün universal formulu almağa imkan verir:

$$\mathbf{I}_K^n = \frac{m^{(n)}\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma} + x_\Delta^{(n)}\right)}, \qquad (5.31)$$

burada, $E_{A\Sigma}$ – düz ardıcıllığın yekun EHQ -si;

$x_{1\Sigma}$ – düz ardıcıllığın əvəz sxeminin ümumi müqaviməti;

$m^{(n)}$ – hesablanan QQ növünü xarakterizə edən və (5.30) ifadəsi ilə təyin olunan əmsaldır, belə ki:

$$\mathrm{m}^{(1)} = 3, \quad \mathrm{m}^{(2)} = j\sqrt{3}, \quad m^{(1.1)} = \sqrt{3}\sqrt{1 - \frac{x_{2\Sigma}x_{0\Sigma}}{\left(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}\right)^2}},$$

$x_\Delta^{(n)}$ - düz ardıcıllıqlı sxemin başlanğıcı ilə sonu arasına

qoşulan qeyri – simmetrik QQ şuntudur və QQ-nın növündən asılı olaraq dəyişir.

(5.31) ifadəsinə əsaslanaraq növbəti düz ardıcıllılığın ekvivalentlik qaydasını ifadə etmək olar: *istənilən qeyri – simmetrik QQ-nın düz ardıcıllıqlı cərəyanını, QQ nöqtəsindən QQ şunutu qədər əlavə müqavimət (şunt) qoşulmuş məsafədə yerləşən nöqtədə üç fazlı QQ kimi hesablamaq olar.*

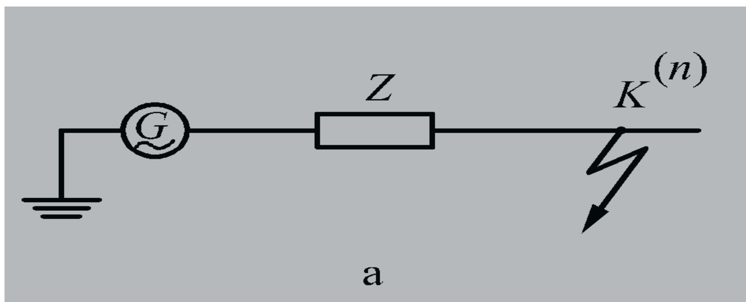
Qeyd edək ki, bu müqavimət düz ardıcıllıq əvəz sxeminin parametrlərindən asılı deyil və hər bir QQ növünə görə, QQ nöqtəsinə nəzərən əks və sıfır ardıcıllıqların yekun müqavimətləri ilə təyin olunur:

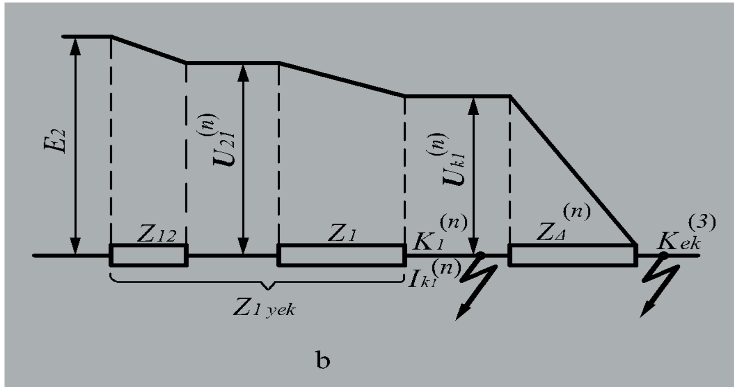
$$x_{\Delta}^{(1)} = x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}, \qquad x_{\Delta}^{(2)} = x_{2\Sigma}, \qquad x_{\Delta}^{(1.1)} = \frac{x_{2\Sigma} x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}.$$

$\mathbf{U}_{\mathbf{kA}}^{(\mathbf{n})}$ gərginliyi üçün $\mathbf{U}_{\mathbf{kA1}}^{(\mathbf{n})} = jx_{\Delta}^{(n)} I_{k1}^{(n)}$ ifadəsi doğrudur.

Ekvivalentlik qaydasının mənasını *şəkil 5.19*-da göstərildiyi kimi təsvir etmək olar. Belə ki, verilən QQ yerində düz ardıcıllığın cərəyan və gərginliyi təyin oluna bilər.

QQ yerində düz, eləcə də digər ardıcılılqlar üzrə cərəyanlar bütün elementlərin ardıcıllıqları üzrə müqavimətlərdən (qövsün müqaviməti daxil olmaqla) asılıdır. Məsələn, əgər çıxışlarında müxtəlif növ QQ baş verən transformatorun sıfır nöqtəsini müqavimət vasitəsilə yerlə əlaqələndirsək, bu dövrədən yalnız sıfır ardıcıllıqlı cərəyanların axmasına baxmayaraq, digər ardıcıllıqlar üzrəcərəyanlar dəyişikliyə məruz qalacaqdır.





Şək.5.19. Düz ardıcıllıqlı cərəyan və gərginliyin təyin olunması üçün (a) - qeyri – simmetrik və (b) ekvivalent üçfazlı QQ

Qeyd edək ki, düz ardıcıllığın ekvivalentlik qaydası, əvvəlki bölmələrdə üçfazlı QQ üçün əldə edilmiş bütün ifadələri qeyri-simmetrik QQ hallarına tətbiq etməyə imkan verir.

Qeyri – simmetrik QQ nöqtəsində cərəyanın hesablanmasını bir neçə əsas mərhələyə bölmək olar:

1. Düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların əvəz sxemlərinin tərtib olunması.
2. Əvəz sxeminin parametrlərinin hesabatı və eyni sistemə gətirilməsi. Bu zaman sxemin ayrı – ayrı elementlərinin 5.2 bölməsində baxılmış düz, əks və sıfır ardıcıllıqlı parametrlərinin müxtəlif olması nəzərə alınır.
3. Düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların sxeminin yekun müqavimətinin təyin olunması. Hər bir ardıcıllığın sxeminin çevrilməsi onun başlanğıc və sonuna nisbətən yerinə yetirilir.
4. Düz ardıcıllıqlı sxemin yekun EHQ-nin təyin olunması. Əgər düz ardıcıllıqlının əvəz sxeminin tərkibində birdən çox EHQ mənbəyi olarsa, o zaman onların ekvivalentlənməsi sxemin başlanğıc və sonuna nisbətən yerinə yetirilir.
5. Hesabatı yerinə yetirilən qısaqapanma cərəyanlarının qarşılıqlı əlaqə əmsalının $m^{(n)}$ – in hesablanması.
6. Qısaqapanma şuntu $x_\Delta^{(n)}$ – təyin olunması.

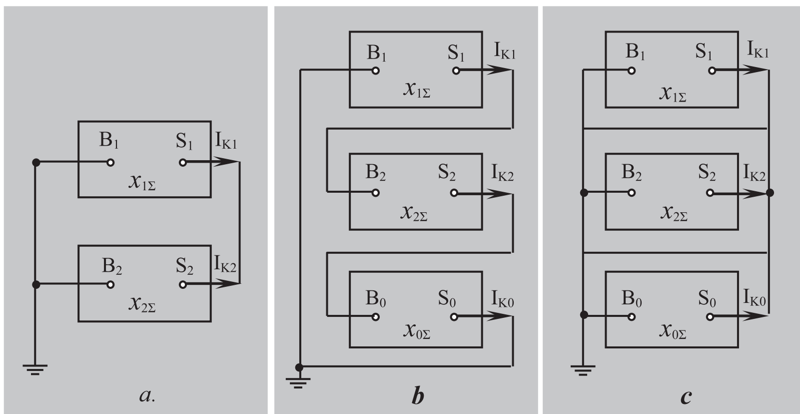
7.(5.29) ifadəsi ilə qısaqapanma yerində tam cərəyan hesablanması.

Əgər hesabatın məqsədi QQ yerində gərginliklərin və ya onların simmetrik mürəkkəbələrinin təyin edilməsi olarsa, onda 5.4.1 ÷ 5.4.3 bölmələrində alınmış müvafiq ifadələrdən istifadə olunur.

5.4.5. Kompleks əvəz sxemləri

Yuxarıda simmetrik mürəkkəbələr arasında alınmış rabitə ifadələri müxtəlif qeyri – simmetrik QQ-ların kompleks əvəz sxemini almağa imkan verir.

Şəkil 5.20 təsvir olunmuş qısaqapanmış dövrənin kompleks əvəz sxemini nəzərdən keçirək. Kompleks sxem düz, tərs və sıfır ardıcıllılı müqavimətlərlə xarakterizə olunur. Üçfazlı QQ əvəz sxemi şəkildə verilməmişdir və məlumdur ki, bu halda kompleks əvəz sxemi yalnlz düz ardıcıllıqlı müqavimətlə təsvir olur.



Şək. 5.20. Kompleks əvəz sxemləri: a – ikifazalı, b – birfazalı, c – ikifazalı yerlə QQ üçün (B – sxemin başlanğıcı, S – onun sonu)

Kompleks əvəz sxemlərində birləşdirmə üsulu QQ-nın növün ilə müyyən olunur. Burada hər bir düzbucaqlı müəyyən ardıcıllığın əvəz sxemini bildirir və əvəz sxemlərinin kompleks sxemə birləşdirmək – kompleks sxemdə ümumi müqavimətlər $x_{2\Sigma}$ və $x_{0\Sigma}$ ilə

təqdim olunan QQ şuntunu düz ardıcıllığın sxeminə qoşmaq deməkdir. Müqavimətlər $x_{2\Sigma}$ və $x_{0\Sigma}$ müvafiq sxemin başlanğıc və sonuna nisbətən təyin olunurlar.

İkifazlı QQ zamanı (*şək. 5.20. a*) ekvivalent sxemdə sıfır adrıcılılıqlı cərəyan axmır və gərginliyin düz və tərs simmetrik mürəkkəbələri QQ yerində eynidir. Bu imkan verir ki, tərs ardıcıllıqlı cərəyanının istiqamətini sondan başlanğıca tərəf istiqamətləndirməklə kompleks əvəz sxemi əldə edək.

Birfazlı QQ halında (*şəkil 5.20. b*) hər üç ekvivalent sxem üzrə eyni cərəyanlar axır və düz ardıcıllığın QQ yerində gərginliyi tərs və sıfır ardıcılığın gərginlik düşkülərinin cəminə bərabərdir. Bu hal kompleks əvəz sxemini üç ardıcıl birləşdirilmiş ekvivalent sxem kimi təsvir və cərəyanların istiqamətini müyyən etməyə imkan verir. Tərs və sıfır ardıcıllıların gərginliyi eyni adlı ardıcıllıqların sıfır potensiallı nöqtələrinə (bu ardıcıllıqların başlanğıcına uyğundur), yəni B_0 və B_2-yə nəzərən təyin olunur.

İkifazlı yerlə QQ baş verən hal üçün (*şəkil 5.20. c*) QQ yerində gərginliyin simmetrik mürəkkəbələri eyni olduğuna görə, bütün ekvivalent sxemlərin sonlarını birləşdirməyə imkan verir.

5.4.6. Müxtəlif qısaqapanma cərəyanlarının müqayisə olunması

Müxtəlif növ QQ cərəyanlarını düz ardıcıllığın ekvivalent qaydası və QQ şuntlarının və cərəyanların qarşılıqlı əlaqə əmsallarının qiymətinə görə sadə yolla müqayisəsi mümkündür. Bu məqsədlə, qəbul edək ki, QQ dövrəsi yalnız induktivlikdən ibarətdir.

Qarşıya qoyulan məsələnin həllində verilmiş eyni iknin şərtlər daxilində üçfazlı QQ cərəyanı ilə qeyri – simmetrik QQ cərəyanlarının müqayisəsi ilə kifayətlənmək olar. Bu hədlərin müəyyən olunması, üçfazlı QQ cərəyanlarını bilərək, ilkin yanaşmada qeyri-simmetrik QQ halında cərəyanların ən böyük və kiçik qiymətlərini qiymətləndirməyə imkan verir. Bunun üçün (5.31) ifadəsindən istifadə etməklə cərəyanların nisbətini almaq lazımdır:

$$\frac{I_K^{(n)}}{I_K^{(3)}} = \frac{m^{(n)} \mathbf{E}_{A\Sigma} x_{1\Sigma}}{\left(x_{1\Sigma} + x_\Delta^{(n)}\right) \mathbf{E}_{A\Sigma}} = \frac{m^{(n)} x_{1\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_\Delta^{(n)}}.$$

$x_{2\Sigma} \approx x_{1\Sigma}$ olduğunu nəzərə almaqla birfazalı və üçfazalı QQ üçün bu nisbət aşağıdakı şəkli alacaq

$$\frac{I_K^{(1)}}{I_K^{(3)}} = \frac{3}{\left(1 + \frac{x_{0\Sigma} + x_{2\Sigma}}{x_{1\Sigma}}\right)} = \frac{3}{2 + \frac{x_{0\Sigma}}{x_{1\Sigma}}}.$$

Sıfır ardıcıllıqlı ümumi müqavimət çox geniş hәddә dәyişir ($0 < x_{0\Sigma} < \infty$). Onda, cәrәyanların nisbәti aşağıdakı kimi tәyin olunur:

$$\frac{3}{2} > \frac{I_K^{(1)}}{I_K^{(3)}} > 0.$$

Eyni şәrtlәrlә ikifazlı QQ üçün

$$\sqrt{3} > \frac{I_K^{(2)}}{I_K^{(3)}} > \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ olar.}$$

$x_{1\Sigma} >> x_{2\Sigma}$ zamanı $\mathrm{I}_\mathrm{K}^{(2)} / \mathrm{I}_\mathrm{K}^{(3)} < \sqrt{3}$ nisbәtinin yuxarı sәrhәdi generatorun yaxınlığında olan QQ-nın qәrarlaşmış rejimi üçün xarakterikdir.

İkifazalı yerlә QQ cәrәyanlarının nisbәti aşağıdakı şәkildә olacaq.

$$\frac{I_K^{(1.1)}}{I_K^{(3)}} = \frac{\sqrt{3}\sqrt{1 + \frac{x_{0\Sigma} x_{2\Sigma}}{\left(x_{0\Sigma} + x_{2\Sigma}\right)^2}}}{1 + \frac{x_{0\Sigma} x_{2\Sigma}}{\left(x_{0\Sigma} + x_{2\Sigma}\right) x_{1\Sigma}}}$$

$x_{1\Sigma} \cong x_{2\Sigma}$ olduqda bu ifadənin surətində və məxrəcində ∞/∞ tipində qeyri – müəyyənlik yaranır. Onları açaraq aşağıdakını alarıq:

$$\lim_{x_{0\Sigma}\to\infty} \frac{\sqrt{3}\sqrt{1-\dfrac{x_{0\Sigma}x_{2\Sigma}}{(x_{0\Sigma}+x_{2\Sigma})^2}}}{1+\dfrac{x_{0\Sigma}x_{2\Sigma}}{(x_{0\Sigma}+x_{2\Sigma})x_{1\Sigma}}} = \frac{\sqrt{3}}{2}\lim_{x_{0\Sigma}\to\infty}\left[\frac{\sqrt{\dfrac{x_{0\Sigma}^2+x_{0\Sigma}x_{2\Sigma}+x_{2\Sigma}^2}{x_{0\Sigma}^2+2x_{0\Sigma}x_{2\Sigma}+x_{2\Sigma}^2}}}{\left(1+\dfrac{x_{0\Sigma}x_{2\Sigma}}{(x_{0\Sigma}+x_{2\Sigma})x_{1\Sigma}}\right)}\right] =$$

$$= \sqrt{3}\lim_{x_{0\Sigma}\to\infty}\frac{\sqrt{\dfrac{1+x_{2\Sigma}/x_{0\Sigma}+x_{2\Sigma}^2/x_{0\Sigma}^2}{1+2x_{2\Sigma}/x_{0\Sigma}+x_{2\Sigma}^2/x_{0\Sigma}^2}}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Beləliklə,

$$\sqrt{3} > I_K^{(1.1)}/I_K^{(3)} > \sqrt{3}/2 \text{ alarıq.}$$

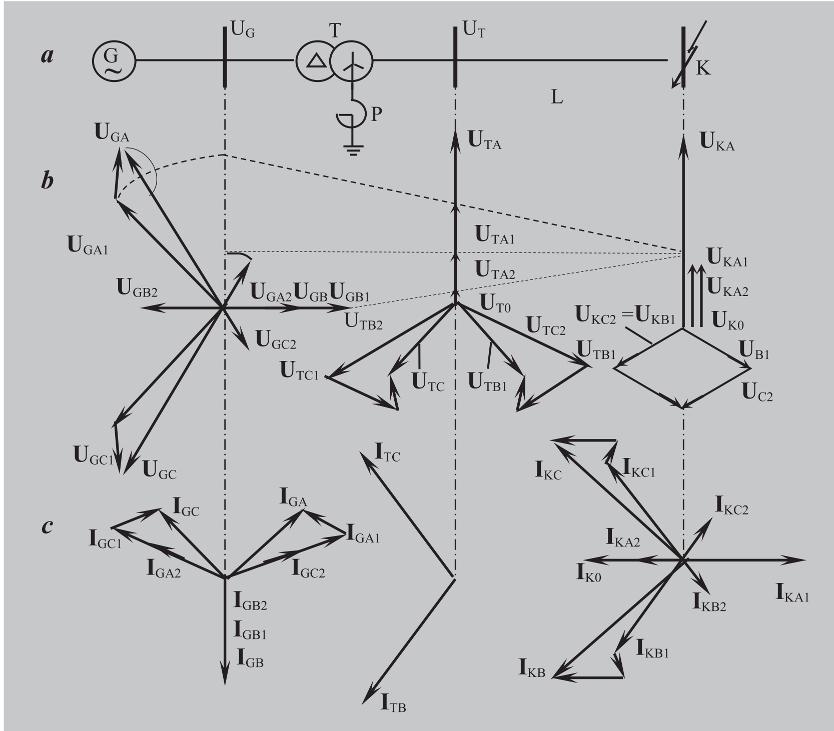
Alınmış nisbətlərdən görünür ki, $x_{0\Sigma}$ müqavimətinin kiçik qiymətlərində qeyri – simmetrik QQ –nın cərəyanları üçfazalı QQ cərəyanından xeyli yüksək olur. Sıfır ardıcıllıqlının ümumi müqaviməti sistemdə olan yerlə birləşdirilmiş neytralların sayından asılıdır. Sistemdə əlaqələrin və transformatorların sayının artması zamanı $x_{0\Sigma}$ azalmağa başlayır. Bu isə öz növbəsində qeyri – simmetrik QQ cərəyanlarını artırır və açarların iş şəraitini çətinləşdirir.

5.4.7. Elektrik sistemində simmetrik mürəkkəbələrin paylanması

Cərəyan və gərginlik üçün əvvəlki bölmələrdə aldığımız vektor diaqramları və ifadələr QQ nöqtəsində rejim parametrləri nisbətinin tam təsvirini verir. Lakin, çox zaman rele mühafizəsinin

və ya kommutasiya aparatlarının ölçmə orqanlarının quraşdırıldığı yerdə olan parametrlər praktiki maraq kəsb edir. QQ yerindən elektriki uzaq nöqtələrdə QQ cərəyanlarının və ya gərginliklərinin səviyyəsinin qiymətləndirilməsi məsələsi ortaya çıxır.

Sxemi *şəkil 5.21, a*-da göstərilən sistemdə ikifazalı yerlə QQ zamanı gərginlik və cərəyanların vektor diaqramlarının dəyişməsinə baxaq.



Şək 5.21. Elektriki QQ nöqtəsindən uzaq qovşaqlarda gərginlik və cərəyanların diaqramları: a – prinsipial sxemi, b – gərginliklərin diaqramı, c – cərəyanların diaqramı

QQ yerində gərginliklərin vektor diaqramı $U_{KA1} = U_{KA2} = U_{K0}$ bərabərliyi nəzərə alınmaqla qurulur. Transformatorun YG şinlərində (*T* nöqtəsi) diaqramı qurmaq üçün gərginliyin simmetrik mürəkkəbəsinin hər birinin dəyişməsini ayrıca təyin etmək lazımdır.

Düz ardıcıllıq gərginliyi QQ yerindən uzaqlaşdıqca artacaq və T nöqtəsində

$$\mathbf{U}_{TA1} = \mathbf{U}_{KA1} + j\mathbf{I}_{LA1}x_L,$$

bərabər olacaq,

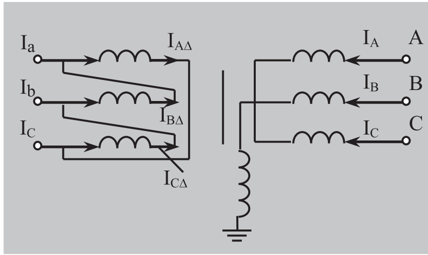
burada
$$\mathbf{I}_{LA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma} - \mathbf{U}_{KA1}}{j\left(x_G + x_T + x_L\right)}.$$

Gərginliyin simmetrik mürəkkəbəsi $\mathbf{U}_{TA1}$-in transformasiyası transformatorun birləşmə qrupu ilə təyin olunur. Elektrik sistemində ən geniş yayılmış Δ/ Ұ – 11 birləşmə qrupu üçün transformatorun üçxətli əvəz sxeminə baxaq (*şəkil 5.22*).

Faz dolaqlarının sarğılar sayını ω_Y və ω_Δ qəbul edərək transformasiya əmsalını yüksüz işləmədə fazalararası gərginliklərin nisbəti kimi təyin edək:

$$k = \sqrt{3}w_Y / w_\Delta.$$

Hesab etsək ki, $\mathbf{I}_A$, $\mathbf{I}_B$, $\mathbf{I}_C$ cərəyanları verilmişdir və *şəkil 5.21*-də göstərilən istiqamətlərini onların müsbət istiqaməti kimi qəbul edərək aşağıdakıları yaza bilərik:



Şək. 5.22. Transformatorun üçxətli əvəz sxemi

$$\mathbf{I}_a = \mathbf{I}_{a\Delta} - \mathbf{I}_{b\Delta} =$$
$$= \left(\mathbf{I}_A - \mathbf{I}_B\right)\frac{w_y}{w_\Delta} = \frac{\mathbf{I}_A - \mathbf{I}_B}{\sqrt{3}}k,$$
$$\mathbf{I}_b = \mathrm{I}_{b\Delta} - \mathbf{I}_{c\Delta} =$$
$$= \left(\mathbf{I}_B - \mathbf{I}_C\right)\frac{w_y}{w_\Delta} = \frac{\mathbf{I}_B - \mathrm{I}_C}{\sqrt{3}}k,$$

$$\mathbf{I}_c = \mathbf{I}_{c\Delta} - \mathbf{I}_{a\Delta} = \left(\mathbf{I}_C - \mathbf{I}_A\right)\frac{w_y}{w_\Delta} = \frac{\mathbf{I}_C - \mathbf{I}_A}{\sqrt{3}}k.$$

I_a cərəyanını onun simmertrik mürəkkəbəsi vasitəsilə ifadə edərək, yaza bilərik,

$$\mathbf{I}_a = \frac{\mathbf{I}_{A1} + \mathbf{I}_{A2} + \mathbf{I}_0 - \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{A1} - \mathbf{a}\mathbf{I}_{A2} - \mathbf{I}_0}{\sqrt{3}} k =$$
$$\frac{\left(1-\mathbf{a}^2\right)\mathbf{I}_{A1} + \left(1-\mathbf{a}\right)\mathbf{I}_{A2}}{\sqrt{3}} k = \left(\mathbf{I}_{A1} e^{j30^0} + \mathbf{I}_{A2} e^{-j30^0}\right)k. \qquad (5.32)$$

Bu ifadədən görsənir ki, üçbucaqdan sonra sıfır ardıcıllıqlı cərəyan mövcud deyil.

Analoji olaraq, eləcə də baxılan transformatordan sonra mövcud olan gərginlikləri tapmaq olar. Əgər $\mathbf{U}_{TA}$, $\mathbf{U}_{TB}$, $\mathbf{U}_{TC}$ - transformatorun yüksək tərəfində faza gərginlikləri kimi qəbul etsək, onda transformatorda gərginlik düşgüsü nəzərə alınmaqla onun aşağı tərəfindəki gərginlik aşağıdakı kimi təyin olunar:

$$\mathbf{U}_{T_A} = \frac{\mathbf{U}_{TA} - \mathbf{U}_{TB}}{\sqrt{3}} \frac{1}{k},$$

$$\mathbf{U}_{T_B} = \frac{\mathbf{U}_{TB} - \mathbf{U}_{TC}}{\sqrt{3}} \frac{1}{k}, \qquad (5.33)$$

$$\mathbf{U}_{T_C} = \frac{\mathbf{U}_{TC} - \mathbf{U}_{T}}{\sqrt{3}} \frac{1}{k}.$$

$\mathbf{U}_{Ta}$ gərginliyi üçün simmetrik mürəkkəbələr vasitəsilə gərginliyi ifadə etsək, alarıq

$$\mathbf{U}_{T_a} = \left(\mathbf{U}_{A1} e^{j30^0} + \mathbf{U}_{A2} e^{-j30^0}\right)\frac{1}{k}. \qquad (5.34)$$

(5.32) və (5.34) ifadələrindən görünür ki:

- transformatorun aşağı tərəfində gərginlik və cərəyanlar yüksək gərginlik (ulduz) tərəfdə sıfır ardıcıllıqlı mürəkkəbələrdən asılı deyil;

- dolaqları Δ/Ɏ – 11 birləşdirilmiş transformatorun ulduz birləşdirilmiş tərəfindən üçbucaq tərəfə keçid zamanı düz ardıcıllığın gərginlik və cərəyan vektorları 30^o müsbət istiqamətə, əks ardıcıllığın isə 30^o mənfi istiqamətə tərəf çevrilir.

Əgər transformatorun N qrupu olarsa, onda üçbucaq birləşdirilmiş tərəfdə cərəyan və gərginliklər üçün ifadələr aşağıdakı şəkildə olacaq:

$$\mathbf{I}_a = \left(\mathbf{I}_{A1} e^{-j30^0 N} + \mathbf{I}_{A2} e^{j30^0 N}\right) k,$$

$$\mathbf{U}_a = \left(\mathbf{U}_{A1} e^{-j30^0 N} + \mathbf{U}_{A2} e^{j30^0 N}\right) \frac{1}{k}.$$

Gərginliyin vektor diaqramına qayıdaraq transformatorun üçbucaq birləşdirilmiş alçaq tərəfinin düz ardıcıllıqlı gərginliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar

$$\mathbf{U}_{GA1} = \left(\mathbf{U}_{TA1} + j\mathbf{I}_{LA1} x_T\right) e^{j30^0} \frac{1}{k}.$$

T nöqtəsində *əks – ardıcıllıqlı gərginlik* aşağıdakına bərabər olacaq

$$\mathbf{U}_{TA2} = \mathbf{U}_{KA2} - j\mathbf{I}_{LA2} x_L,$$

burada

$$\mathbf{I}_{LA2} = \frac{\mathbf{U}_{KA2}}{j\left(x_L + x_T + x_{G2}\right)}.$$

Transformatorun alçaq tərəfinə keçən zaman o

$\mathbf{U}_{GA2} = \left(\mathbf{U}_{TA2} - j\mathbf{I}_{LA2} x_T\right) e^{-j30^0} \frac{1}{k}$.-ə bərabər olacaq

T nöqtəsində *sıfır – ardıcıllıqlı gərginlik* aşağıdakına bərabər olacaq

$$\mathbf{U}_{T0} = \mathbf{U}_{K0} - j\mathbf{I}_{L0} x_{L0},$$

burada

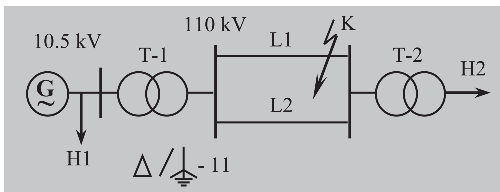
$$\mathbf{I}_{L0} = \frac{\mathbf{U}_{K0}}{j\left(x_{L0} + x_T + 3x_P\right)}.$$

Transformatorun aşağı tərəfinin gərginlik və cərəyanlarının vektor diaqramının tərkibində sıfır ardıcıllıqlı mürəkkəbə yoxdur. Sxemdə budaqlanma olmadığına görə *T* nöqtəsindəki cərəyanların vektor diaqramı QQ nöqtəsindəki cərəyanlar diaqramını təkrar edəcəkdir. Transformatorun aşağı gərginlik tərəfinə keçən zaman cərəyanın simmetrik mürəkkəbələri (5.33) tənliyinə müvafiq olaraq çevriləcəkdir. Cərəyanların vektor diaqramları *şək. 5.21*, *c*-də göstərilib.

M ə s ə l ə 5.1. ES –in sxemində, şəkildə göstərilən nöqtələrdə növbə ilə müxtəlif qeyri – simmetrik QQ yaranır.

Tapşırıq:

1. Qeyri – simmetrik QQ yerində cərəyanları təyin edin.
2. T – 1 transformatorunun YG və AG şinlərində ikifazalı yerlə QQ –nın vektor diaqramlarını qurun.



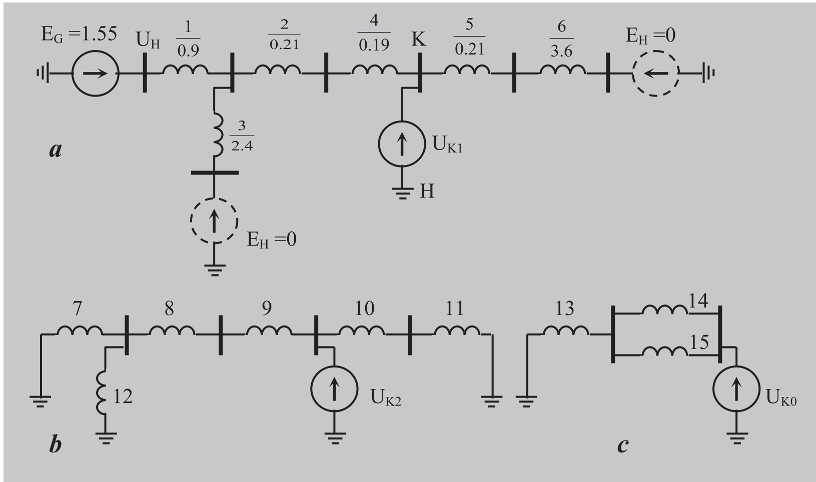
Sxemin parametrləri S_b = MVA, $U_b = U_{or.g}$ olan bazis gətirilmişdir.

$$X_{G1} = 0.9,\ X_{G2} = 0.45,\ E_C = 1.67,\ X_{T1} = X_{T2} = 0.21,\ X_{l1,2(1)} = 0.19,$$

$$X_{l1,2(0)} = 0.57,\ X_{H2} = 3.6,\ X_{H2(2)} = 1.05,\ X_{H1} = 2.4,\ X_{H1(2)} = 0.7.$$

Həlli

1. Düz (a), əks (b) və sıfır (c) ardıcıllıqlıların hesabatının əvəz sxemləri



2.**Qeyri simmetrik QQ cərəyanlarının hesabatı.**

Düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların ümumi müqavimətləri:

$$x_{1\Sigma} = [(x_1 // x_3) + x_2 + x_4] // (x_5 + x_6) =$$
$$= [(0.9 // 2.4) + 0.21 + 0.19] // (0.21 + 3.6) = 0.83,$$
$$x_{2\Sigma} = [(x_7 // x_{12}) + x_8 + x_9] // (x_{10} + x_{11}) =$$
$$= [(0.45 // 0.7) + 0.21 + 0.19] // (0.21 + 1.05) = 0.44,$$

$$x_{0\Sigma} = x_{13} + (x_{14} + x_{15}) = 0.21 + 0.57 = 0.78.$$

Generator – yük A1 –in ekvivalent EHQ

$$E_{ekv} = \frac{E_G x_H + E_H x_G}{x_H + x_G} = \frac{1.67 \cdot 2.4}{2.4 + 0.9} = 1.22.$$

Sxemin ümumi EHQ

$$E_{\Sigma} = \frac{E_{ekv}\left(x_5 + x_6\right)}{x_1 // x_3 + x_2 + x_4 + x_5 + x_6} = \frac{1.22 \cdot 3.81}{4.87} = 0.95.$$

QQ pilləsində bazis cərəyanı

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_{or.nom}} = \frac{120}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0.6\ kA.$$

Qısaqapanma yerində birfazalı QQ cərəyanının modulu

$$\left|I_{KA}^{(1)}\right| = m^{(1)} \frac{E_{\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(1)}} I_b = 3 \frac{0.95}{0.83 + 0.44 + 0.78} 0.6 = 0.84kA.$$

İkifazalı QQ cərəyanlarının modulları

$$\left|I_{KC}^{(2)}\right| = \left|I_{KB}^{(2)}\right| = m^{(2)} \frac{E_{\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(2)}} I_b = \sqrt{3} \frac{0.95}{0.83 + 0.44} 0.6 = 0.77kA.$$

İkifazalı yerlə QQ cərəyanlarının modulları

$$\left|I_{KB}^{(1.1)}\right| = \left|I_{KC}^{(1.1)}\right| = m^{(1.1)} \frac{E_{\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(1.1)}} I_b = 1.52 \frac{0.95}{0.83\left(0.44 // 0.78\right)} 0.6 = 0.78kA,$$

burada

$$m^{(1.1)} = \sqrt{3}\sqrt{1 - \frac{x_{2\Sigma} x_{0\Sigma}}{\left(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}\right)^2}} = \sqrt{3}\sqrt{1 - \frac{0.44 \cdot 0.78}{\left(0.44 + 0.78\right)^2}} = 1.52.$$

3. İkifazalı yerlə QQ üçün T – 1 transformatorunun yüksək gərginlik tərəfində cərəyan və gərginliklərin vektor diaqramlarının qurulması

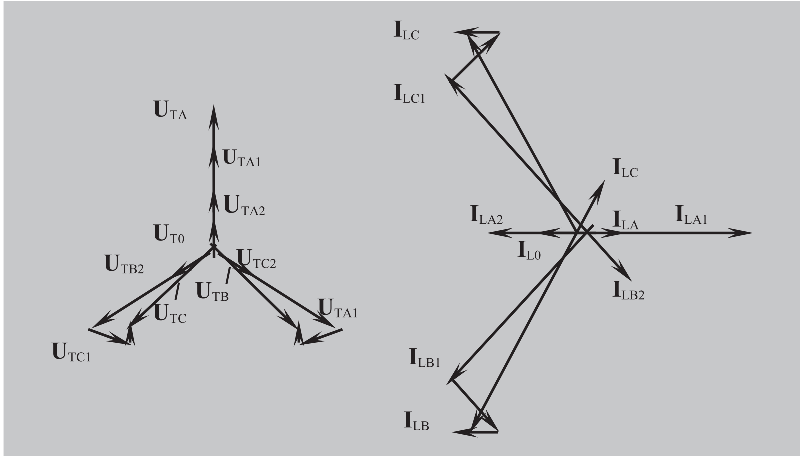
QQ yerində düz ardıcıllıqlı cərəyan

$$I_{KA1} = \frac{E_{\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(1.1)}} = \frac{0.95}{0.83 + 0.28} = 0.86.$$

Əks və sıfır ardıcıllıqlı cərəyanlar

$$I_{KA2} = -I_{KA1}\frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}} = -0.86\frac{0.78}{0.78+0.44} = -0.55,$$

$$I_{K0} = -I_{KA1}\frac{x_{2\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}} = -0.86\frac{0.44}{0.78+0.44} = -0.31.$$



QQ yerində müxtəlif ardıcıllıqların gərginliyi

$$U_{KA1} = U_{KA2} = U_{K0} = I_{KA1} jx_{1\Sigma} = j0.86\cdot 0.28 = j0.24.$$

$L1$, $L2$ xətlərində düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların cərəyanları

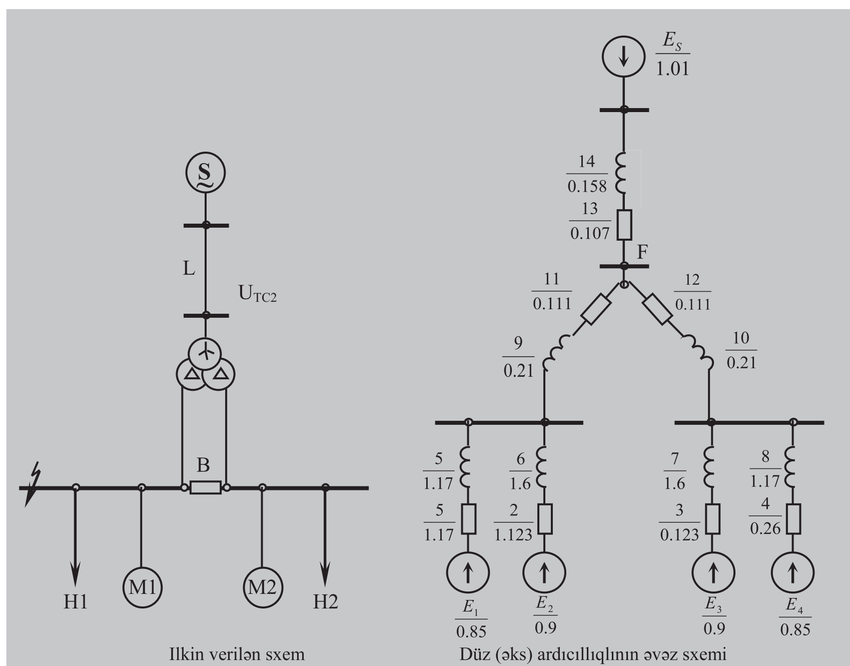
$$I_{LA1} = \frac{j(E_{ekv} - U_{KA1})}{j[(x_1 // x_3) + x_2 + x_4]} = \frac{1.22-0.24}{1.06} = 0.92,$$

$$I_{L0} = I_{K0} = -0.31. \quad I_{LA2} = \frac{U_{KA2}}{(x_7 // x_{12}) + x_6 + x_9} = \frac{0.24}{0.67} = -0.36.$$

T – 1 – in yüksək gərginlik şinində düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların gərginlikləri:

$$U_{TA1} = jU_{KA1} + jI_{LA1}x_{L1,2} = j0.24 + j0.92 \cdot 0.19 = j0.42,$$
$$U_{TA2} = jU_{KA2} + jI_{LA2}x_{L1,2} = j0.24 - j0.36 \cdot 0.19 = j0.17,$$
$$U_{T0} = jU_{K0} + jI_{L0}x_{L1,2\,(0)} = j0.24 - j0.31 \cdot 0.57 = j0.06,$$

Cərəyan və gərginliklərin vektor diaqramları bundan əvvəlki səhifədə verilmişdir.



Ilkin verilən sxem — Düz (əks) ardıcıllıqlının əvəz sxemi

M ə s ə l ə 5.2. Şəkildə verilən prinsipial sxem üçün K nöqtəsində ikifazalı qısaqapanma zamanı zərbə cərəyanının qiymətini təyin edin və başlanğıc cərəyanların paylanmasını tapın. Sxemin elementləri aşağıda verilən məlumatlarla xarakterizə olunur:

xətt L: 130 km, naqil AC – 120, x = 0,4 Om/km, r =0.27 Om/km;

transformator T: 40 MVA, 115/6.3kV, U_{qq} = 10.5%, ¥/Δ – 11, alçaq gərginlik dolağı

iki paralel budaqlanmaya bölünüb, P = 222 kVt;

yüksək H1 və H2 bərabərdirlər hər biri 12 MVA;

orta ümumiləşdirilmiş yük $E_0^n = 0.85, x^n = 0.35$;

asinxron mühərriklər M1 və M2 eynidirlər, hər biri 5 MVA, 6kV, $I_{iş.sal}$ = 4.55,

bundan əvvəlki rejimdə cosφ = 0.8 və U = 6 kV zamanı 2.1 MVA yüklə işləmişlər.

H ə l l i. Əvəz sxeminin elementləri (açar A açıqdır) S_b = 40 MVA və U_b = U_{or} zamanı nisbi vahidlərdə ifadə olunmuş EHQ və müqavimətləri aşağıda verilən qiymətlərlə xarakterizə olunurlar:

$$E_1 \approx E_2 = \left(U_{nom} - \frac{S_{qız}}{S_{nom}}\frac{1}{I_{pusk}}\sin\varphi\right)\frac{U_{nom}}{U_b} = \left(1 - \frac{2.1}{5}\frac{1}{4.55}0.6\right)\frac{6}{6.3} = 0.9,$$

$$x_1 = x_2 = \frac{1}{4.55}\frac{40}{5}\left(\frac{6}{6.3}\right)^2 = 1.6.$$

Mühərrikin aktiv müqavimətini qiymətləndirmək üçün şəkil 4.11 – də verilən əyrilərdən istifadə edək. Verilmiş gücdə olan mühərrik üçün K_y = 1.8, ona *x* / *r* = 13 nisbəti uyğundu, beləliklə:

$$r_2 = r_3 = \frac{1.6}{13} = 12.3 \cdot 10^{-2}.$$

Yüklərin müqaviməti və onların EHQ – ləri

$$x_5 = x_8 = 0.35\frac{40}{12} = 1.17, \quad r_1 = r_4 = \frac{117}{4.5} = 26 \cdot 10^{-2}, \quad E_1 = E_4 = 0.85.$$

Transformatorun əvəz sxeminin budaqlarının müqavimətləri:

$$x_9 = x_{10} = 2 \cdot 0.105 = 0.21, \quad r_{11} = r_{12} = \frac{0.222}{40}2 = 1.11 \cdot 10^{-2}.$$

Xəttin müqavimətləri:

$$x_{14} = 0.4 \cdot 130\frac{40}{115^2} = 0.158 \quad \text{və} \quad x_{13} = 0.158\frac{0.27}{0.4} = 0.107.$$

Sistemin EHQ – si $E_5 = 116.5/115 = 1.01$.

Yekun EHQ – ni və düz ardıcıllıqlı sxemin reaktivliyini tapaq:

$$x_{15} = x_{16} = 1.6 // 1.17 = 0.676, \qquad E_6 = E_7 = 0.85 // 0.9 = 0.87,$$

$$x_{17} = 0.158 // (0.676 + 0.21) = 0.134,$$

$$E_8 = E_5 // E_6 = 1.01 // 0.87 = 0.99, \qquad x_{18} = 0.134 + 0.21 = 0.344,$$

$$x_{1\Sigma} = 0.344 // E0.676 = 0.228, \qquad E_\Sigma = E_8 // E_7 = 0.99 // 0.87 = 0.95.$$

Bu halda əks ardıcıllıq sxemini almaq üçün şəkildə göstərilən əvəz sxemində müqavimətlərin əvvəlki qiymətlərini saxlamaqla bütün EHQ – ləri sıfıra bərabər edilməsi kifayətdir. Beləliklə, qısaqapanma nöqtəsinə nəzarən əks ardıcıllığın yekun reaktivliyi $x_{2\Sigma} = 0.228$ - ə bərabərdir.

Aktiv müqaviməti kənara qoyaraq qısaqapanma yerində düz ardıcıllıqlının cərəyanının modulunu tapaq

$$I_{K1} = \frac{0.95}{2 \cdot 0.228} = 2.08$$

və gərginliyi

$$U_{K1} = 2.08 \cdot 0.228 = 0.475$$

M1 mühərrikindən və H1 yükündən düz ardıcıllıqlı cərəyan

$$I_1 = \frac{0.87 - 0.475}{0.676} = 0.58.$$

Transformator vasitəsilə qısaqapanma yerinə düz ardıcıllıqlı $I_1 = 2.08 - 0.58 = 1.1.5.$ cərəyanı axır. Sxemin F nöqtəsində düz ardıcıllığın gərginliyi $U_F = 0.475 + 1.5 \cdot 0.21 = 0.79$ - sa bərabərdir.

M2 mühərrikindən və H2 yükündən düz ardıcıllıqlı cərəyan

$$I_{1M-H} = \frac{0.87 - 0.79}{0.676 + 0.21} = 0.09$$

və sistemdən

$$I_{1C} = 1.5 - 0.09 = 1.41.$$

Zədələnmiş fazada əks ardıcıllıq cərəyanı $I_{K2} = -2.28$ və onun paylanması aşağıdakı kimi olur:

M1 mühərriki və H1 yükündən $I_{2M-H1} = -0.7$

M2 mühərriki və H2 yükündən $I_{2M-H2} = -0.2$

Beləliklə, sağlam və zədələnmiş fazalarda cərəyanların başlanğıc qiymətləri aşağıdakı kimi olacaq:

M1 və H1 – də $I_A = 0.58 - 0.7 = -0.12,\quad I_B = I_C = \left|a^2 \cdot 0.58 - a \cdot 0.7\right| = 1.11;$

M2 və H2 – də $I_A = 0.09 - 0.21 = -0.12,\quad I_B = I_C = \left|a^2 \cdot 0.09 - a \cdot 0.21\right| = 0.24;$

sistemdən (dolaqların verilmiş birləşməsi ilə transformatordan keçmə nəzərə alınmaqla)

$$I_A = I_B = \left|1.4e^{-j30^o} - 1.17e^{j30^o}\right| = 2.24, \qquad I_C = 1.41 + 1.17 = 2.58.$$

Nisbi vahidlərdə təyin olunmuş cərəyanları adlı vahidlərdə almaq üçün onları transformatorun alçaq tərəfində $I_b = \dfrac{40}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 3.67$ kA -ə, yüksək tərəfində isə $I_b = \dfrac{40}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0.2$ kA -ə vurmaq lazımdır.

Ekvivalent zaman sabiti $T_{a\ ekv}$ -ni təyin etmək üçün sxemin yekun aktiv müqavimətini (bütün reaktivliklərin sıfıra bərabər olmasını nəzərdə tutaraq) tapırıq $r_{1\Sigma} = 3.54 \cdot 10^{-2}$. Zaman sabitini hesablayaq:

$$T^{(2)}_{a\,ekv} = T^{(3)}_{a\,ekv} = \frac{0.228}{314 \cdot 3.54} 10^2 = 0.0204 \text{ san},$$

bu halda zərbə cərəyanı $k_z = 1 + e^{-0.01/0.0204} = 1 + 0.61 = 1.61$. Qısaqapanmanın zərbə cərəyanının axtarılan qiyməti $k_z = 1.61\sqrt{2}\sqrt{3} \cdot 2.08 \cdot 3.67 = 30.2$ kA təşkil edir.

5.5. BİRQAT UZUNUNA QEYRİ - SİMMETRİKLİK

Üçfazlı sistemdə uzununa qeyri – simmetriklik eyni vaxta baş verməyən fazalr üzrə kommutasiya, bir və ya iki fazın qırılması, həmçinin fazları bir – birinə bərabər olmayan müqavimətlər (məs. qeyri – simmetrik yük) qoşulan zaman baş verir.

İki növ qeyri – simmetriklik halı üçün qeyri – simmetrik rejimin parametrləri arasında nisbətə baxaq:

a) bir və ya iki fazın qırılması halında;

b) fazlara qeyri – simmetrik yük qoşulması halında.

Qeyd edək ki, uzununa qeyri – simetrikliyin təhlinin formalizasiysı üçün əvvəlki bölmələrdə olduğu kimi, əsas harmonika nəzərə alınır, fazların qırılması qırılma yerinin sonluqlarındakı gərginlik düşüksünə bərabər gərginlik mənbəyinin qoşulması, gərginlik mənbəyinin dəyişməz halında faza müqavimətin qoşulması digər fazların eyni müqavimətlə şuntlanması və fazda müqvimətin şuntlanması əks işarəli eyni müqavimətin qoşulması ilə eyniləşdirilir.

Sxemlərdə gərginlik düşgülərinin düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların tənlikləri (5.6) ÷ (5.8) bərabərliklərinə oxşar şəkildədir. Yəni, müəyyən ardıcıllıqların cərəyanları müvafiq ardıcıllıların gərginlik düşküsünün yaranmasına səbəb olur. Bu qarşılıqlı əlaqə növbəti asılı olmayan bərabərliklər sistemi ilə ifadə olunur:

$$\Delta \mathbf{U}_{LA1} = \mathbf{E}_{A\Sigma} - jx_{L1\Sigma}\mathbf{I}_{LA1}, \qquad (5.34)$$

$$\Delta \mathbf{U}_{LA2} = 0 - jx_{L2\Sigma}\mathbf{I}_{LA2}, \qquad (5.35)$$

$$\Delta \mathbf{U}_{L0} = 0 - jx_{L0\Sigma}\mathbf{I}_{L0}, \qquad (5.36)$$

burada $\mathbf{\Delta U}_{LA1}$, $\mathbf{\Delta U}_{LA2}$, $\mathbf{\Delta U}_{L0}$ – sistemin qeyri – simmetrik sahəsində A fazında gərginlik düşgüsünün simmetrik mürəkkəbələr;

$\mathbf{E}_{A\Sigma}$ – yalnız düz ardıcıllığı sxemində mövcud olan, qidalnma mənbəyinin yekun EHQ;

$x_{L1\Sigma}$, $x_{L2\Sigma}$, $x_{L0\Sigma}$ – qeyri – simmetriya yerinə nisbətən müvafiq ardıcıllıqların sxeminin yekun reaktivliyidir;

L – indeksi qeyri – simmetrik rejimlərin parametrlərini göstərir.

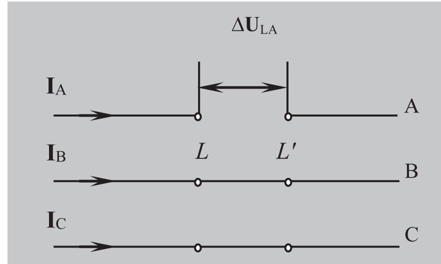
5.5.1. Bir fazın qırılması

Üç fazlı dövrədə bir fazın qırılması, qırılma yerində növbəti sərhəd şərtləti ilə xarakterizə olunur (şəkil 5.23):

$$\mathbf{I}_{LA} = 0, \qquad (5.37)$$

$$\Delta\mathbf{U}_{LB} = 0, \qquad (5.38)$$

$$\Delta\mathbf{U}_{LC} = 0. \qquad (5.39)$$



Şəkil 5.23. Bir fazanın qırılmasının prinsipial sxemi

Baxlan qəza rejiminin analizi məqəsdilə, fazın qırılma yerinə $\Delta\mathbf{U}_{LA}$ uzununa gərginlik mənbəyi daxil edilir (şək.5.22) və ardıcıllılıqlar üzrə əvəz sxemləri tərtib olunur. Sərhəd şərtlərinin nəzərə alaınması və simmetrik mürəkkəbələr metodunun əsasları aşağıdakı bərabərliyin alınmasına imkan verir:

$$\Delta\mathbf{U}_{LA1} = \Delta\mathbf{U}_{LA2} = \Delta\mathbf{U}_{L0} = \frac{1}{3}\Delta\mathbf{U}_{LA}. \qquad (5.40)$$

(5.36) nəzərə almaqla yaza bilərik:

$$\mathbf{I}_{LA1} + \mathbf{I}_{LA2} + \mathbf{I}_{L0} = 0. \qquad (5.41)$$

(5.40) nəzərə almaqla (5.35) və (5.36) bərabərliklərindən aşağıdakıları alarıq:

$$\mathbf{I}_{LA2} = -\frac{\Delta\mathbf{U}_{LA1}}{jx_{L2\Sigma}}, \qquad (5.42)$$

$$\mathbf{I}_{L0} = -\frac{\Delta\mathbf{U}_{LA1}}{jx_{L0\Sigma}}. \qquad (5.43)$$

(5.42) və (5.43) formullarını (5.41)-də yerinə yazsaq qırılma yerində düz ardıcıllığın gərginlik düçküsünü alırıq:

$$\Delta\mathbf{U}_{LA1} = jx_{\Delta L}\mathbf{I}_{LA1}, \qquad (5.44)$$

burada, $x_{\Delta L} = x_{L2\Sigma} // x_{L0\Sigma}$ - düz ardıcıllığın əvəz sxeminə daxil edilən əlavə müqvimətdir.

(5.44) nəzərə alaraq (5.34) formulundan cərəyanın düz ardıcıllığı üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$\mathbf{I}_{LA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j(x_{L1\Sigma} + x_{\Delta L})}. \tag{5.45}$$

(5.44) ifadəsini (5.42) və (5.43)-də yerinə yazaraq düz və əks ardıcıllıqlı cərəyanlar üçün aşağıdakı ifadələri alarıq:

$$\mathbf{I}_{LA2} = -\frac{x_{L0\Sigma}}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}}\mathbf{I}_{LA1}, \tag{5.46}$$

$$\mathbf{I}_{L0} = -\frac{x_{L2\Sigma}}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}}\mathbf{I}_{LA1}. \tag{5.47}$$

Zədələnməmiş fazlardakı cərəyanlar *A* fazının cərəyanının simmetrik mürəkkəbələri vasitəsilə aşağıdakı kimi ifadə olunurlar:

$$\mathbf{I}_{LB} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{LA1} + \mathbf{a}\mathbf{I}_{LA2} + \mathbf{I}_{L0} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{LA1} - \mathbf{a}\frac{x_{L0\Sigma}}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}}\mathbf{I}_{LA1} - \\ - \frac{x_{L2\Sigma}}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}}\mathbf{I}_{LA1} = \left(\mathbf{a}^2 - \frac{x_{L2\Sigma} + \mathbf{a}x_{L0\Sigma}}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}}\right)\mathbf{I}_{LA1}, \tag{5.48}$$

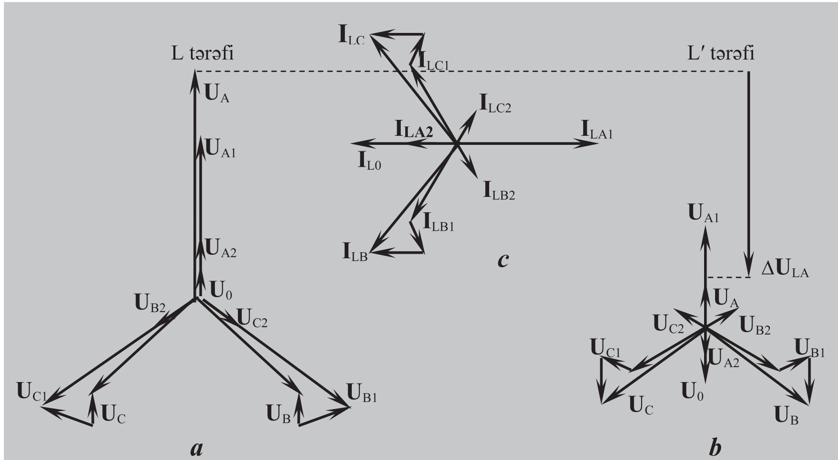
$$\mathbf{I}_{LC} = \left(\mathbf{a} - \frac{x_{L2\Sigma} + \mathbf{a}^2 x_{L0\Sigma}}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}}\right)\mathbf{I}_{LA1} \tag{5.49}$$

Fazın qırılma yerindəki gərginlik düşgüsü

$$\Delta \mathbf{U}_{LA} = 3\mathbf{I}_{LA1} jx_{\Delta L}. \quad (5.50)$$

ifadəsi ilə təyin olunur.

Gərginlik və cərəyanların vektor diaqramları *şəkil 5.24*-də göstərilib.



Şəkil 5.24. Bir fazanın qırılması zamanı vektor diaqramları:
a, b - qırılma nöqtəsindəki gərginliklər, c – qırılma nöqtəsindəki cərəyanlar

Qırılma yerindən hər hansı bir tərəfə gərginliyi təyin etmək üçün həmin tərəfin gərginliyinin mürəkkəbələrini hesablayırlar. Onlara $\Delta\mathbf{U}_{LA1}$, $\Delta\mathbf{U}_{LA2}$, $\Delta\mathbf{U}_{L0}$ əlavə edərək digər tərəfin gərginliyinin simmetrik mürəkkəbələri təyin edir.

Eyni adlı fazaların simmetrik mürəkkəbələrinin gərginliklərini toplayaraq qırılma yerində fazın gərginliyini tapırlar. Aydındır ki, qırılmanın kənar tərəfləri üzrə zədələnməmiş fazların gərginlikləri biri – birinə bərabərdir.

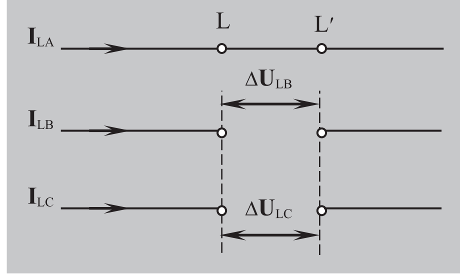
5.5.2. İki fazın qırılması

İki fazın qırılması halında qırılma yerində baxılan dövrə növbəti sərhəd şərtləri ilə ifadə olunur (*şəkil 5.25*):

$$\Delta \mathbf{I}_{LB} = 0, \quad (5.51)$$

$$\Delta \mathbf{I}_{LC} = 0, \quad (5.52)$$

$$\Delta \mathbf{U}_{LA} = 0. \quad (5.53)$$



Şək. 5.25. İki fazın qırılması

Bir fazın qırılma halına analoji olaraq, baxlan qəza rejiminin analizi məqəsdilə, fazın qırılma yerinə $\Delta \mathbf{U}_{LB}$ və $\Delta \mathbf{U}_{LC}$ uzununa gərginlik mənbəyi daxil edilir (*şək.5.25*) və ardıcıllılıqlar üzrə əvəz sxemləri tərtib olunur.

(5.51) və (5.52) bərabərliklərinə uyğun olaraq, cərəyanın simmetrik mürəkkəbələri üzrə aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\mathbf{I}_{LA1} = \mathbf{I}_{LA2} = \mathbf{I}_{L0} = \frac{1}{3}\mathbf{I}_{LA}, \qquad (5.54)$$

(5.53) -ni nəzərə alaraq, onun simmetrik mürəkkəbələrə ayrılmasını həyata keçirməklə, növbəti ifadəni yazmaq olar:

$$\Delta \mathbf{U}_{LA1} + \Delta \mathbf{U}_{LA2} + \Delta \mathbf{U}_{L0} = 0. \qquad (5.55)$$

(5.34) ÷ (5.36) bərabərliklərinin sağ tərəfini toplayaraq və (5.54) nisbətini nəzərə alaraq aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\mathbf{I}_{LA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j(x_{L1\Sigma} + x_{\Delta L})}, \qquad (5.56)$$

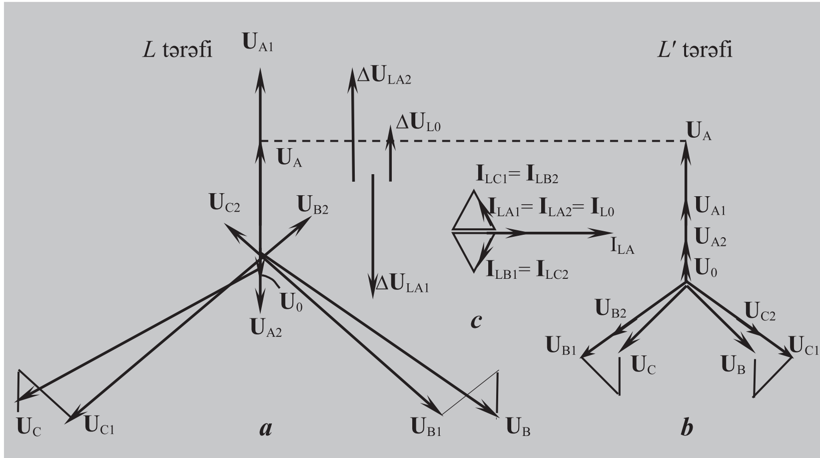
burada $x_{\Delta L} = x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}$.

(5.54) nəzərə alınmaqla faz cərəyanı üçün aşağıdakı ifadə doğrudur

$$\mathbf{I}_{LA} = 3\mathbf{I}_{LA1}. \qquad (5.57)$$

Dövrənin zədələnmə yerində faz gərginlikləri fərginin simmetrik mürəkkəbələrini (5.34) ÷ (5.36) formulları üzrə təyin edilir.

Gərginlik və cərəyanların vektor diaqramları *şəkil 5.26*-də göstərilib.



Şəkil 5.26. İki fazanın qırılma yerində gərginlik və cərəyanların vektor diaqramları

5.5.3. Müqavimətin qoşulmasından yaranan qeyri - simmetriklik

Uzununa qeyri-simmetriyanın yaranması bir və ya iki faza Z müqavimətinin ardıcıl qoşulması nəticəsində baş verə bilər. Belə hal həmçinin, açarın kontaktlarının eyni zamanda aralanmaması və ya qeyri – simmetrik yükün qoşulması zamanı baş verə bilər.

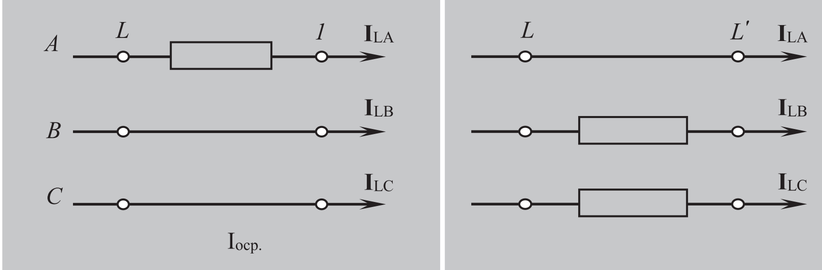
Bir və ya iki faza *Z* müqvimətinin qoşulmasnın sərhəd şərtləri növbəti bərabərliklərlə təsvir olunur (*şəkil 5.27, a*):

a) müqavimətin bir faza qoşulması zamanı:

$$\Delta\mathbf{U}_{LB} = \Delta\mathbf{U}_{LC} = 0, \quad \Delta\mathbf{U}_{LA} = \mathbf{ZI}_{LA};$$

b) müqavimətin iki faza qoşulması zamanı (*şək. 5.27*, *b*):

$$\Delta\mathbf{U}_{LA}=0,\quad \Delta\mathbf{U}_{LB}=\mathbf{Z}\mathbf{I}_{LB},\quad \Delta\mathbf{U}_{LC}=\mathbf{Z}\mathbf{I}_{LC}.$$



Şək. 5.27. Müqavimətin qoşulmasından yaranan qeyri – simmetriklik: a – bir faza, b – iki faza

Qeyd edək ki, Z müqvimətinin sonzuz qiymətində sərhəd şərtləri cərayan sıfıra bərabər olan (xüsusi hal kimi) bir bərbərliklə ifadə olduğuna görə, simmetrik rejimin analizi üçün müqavimətin sonlu qiyməti üçün baxılır.

Sərhəd şərtləri nəzərə alınmaqla müqavimətin bir faza qoşulma halı üçün yaza bilərik:

$$\Delta\mathbf{U}_{LA1}=\Delta\mathbf{U}_{LA2}=\Delta\mathbf{U}_{L0}=\frac{1}{3}\Delta\mathbf{U}_{LA},$$

$$\mathbf{Z}\left(\mathbf{I}_{LA1}+\mathbf{I}_{LA2}+\mathbf{I}_{L0}\right)=3\Delta\mathbf{U}_{LA1}. \tag{5.58}$$

(5.34) ifadəsini (5.58)-də yerinə yazaq və (5.35) və (5.36)-dən $\mathbf{I}_{LA2}$ və $\mathbf{I}_{L0}$ təyin edərək aşağıdakını yaza bilərik:

$$\mathbf{I}_{LA1}=\frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{jx_{L1}+\mathbf{Z}_{\Delta}^{(1)}}, \tag{5.59}$$

burada

$$\mathbf{Z}_{\Delta}^{(1)}=\frac{\mathbf{Z}}{3}//\,jx_{L2\Sigma}//\,jx_{L0\Sigma}. \tag{5.60}$$

Əgər 5.5.1 bəndində $x_{\Delta}^{(1)}$ müqavimətini (5.60) formulu ilə təyin olunan $\mathbf{Z}_{\Delta}^{(1)}$ müqaviməti ilə əvəz etsək 5.5.1 bəndində alınmış bütün ifadələr bu hal üçün də düzgün hesab olunar.

İki eyni müqavimətin *B* və *C* fazlarına qoşulması halı üçün əlavə müqavimət $\mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}$ aşağıdakı kimi təyin olunacaq.

$$\mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)} = \left[\left(\mathbf{Z} // jx_{L0\Sigma}\right) + \left(\mathbf{Z} // jx_{L2\Sigma}\right)\right] // \mathbf{Z}. \qquad (5.61)$$

Qeyri – simmetriklik yerində cərəyan və gərginliklərin simmetrik mürəkkəbələri üçün ifadə aşağıdakı kimidir:

$$\mathbf{I}_{LA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{jx_{L1\Sigma} + \mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}}, \quad \mathbf{I}_{LA2} = -\mathbf{I}_{LA1}\frac{\mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}}{\mathbf{Z} + jx_{L2\Sigma}},$$

$$\mathbf{I}_{L0} = -\mathbf{I}_{LA1}\frac{\mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}}{\mathbf{Z} + jx_{L0\Sigma}}, \quad \Delta\mathbf{U}_{LA1} = \mathbf{I}_{LA1}\mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}, \qquad (5.62)$$

$$\Delta\mathbf{U}_{LA2} = \mathbf{I}_{LA1}\frac{\left(\mathbf{Z} - \mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}\right)jx_{L2\Sigma}}{\mathbf{Z} + jx_{L2\Sigma}}, \quad \Delta\mathbf{U}_{L0} = \mathbf{I}_{LA1}\frac{\left(\mathbf{Z} - \mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}\right)jx_{L0\Sigma}}{\mathbf{Z} + jx_{L0\Sigma}}.$$

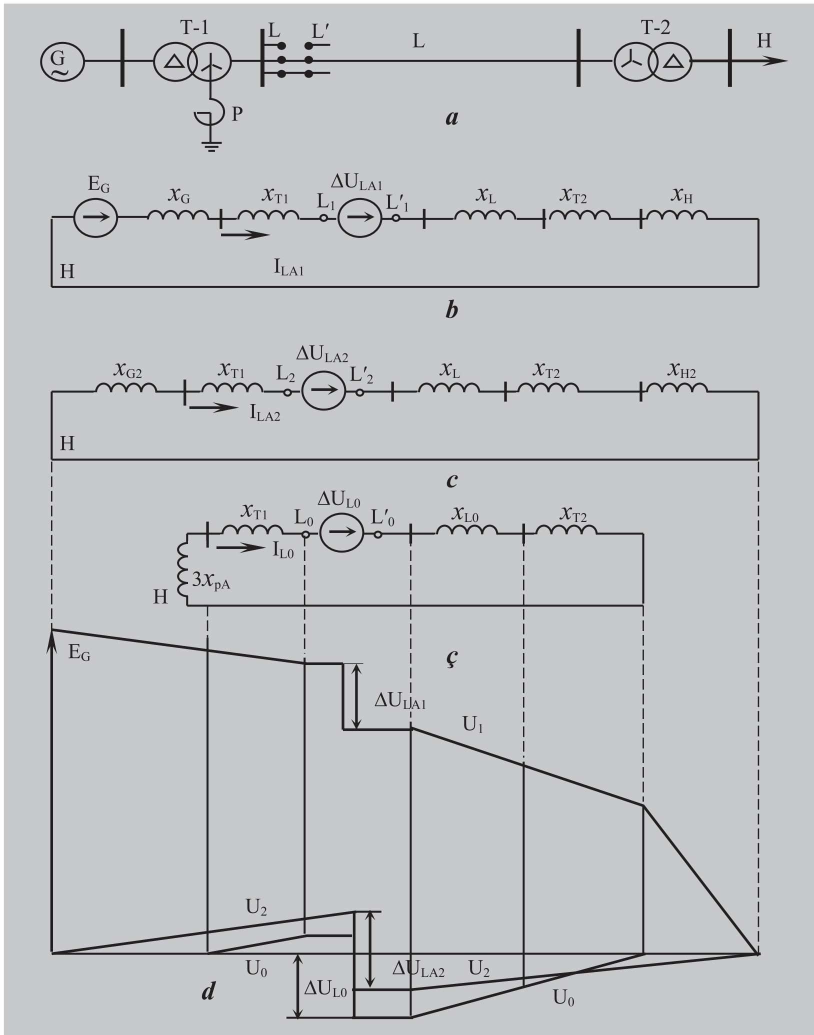
(5.62) bərabərliklərini, həmçinin (5.59), (5.60), (5.42) ÷ (5.57) ifadələrini təhlil edərək aşağıda verilən nəticəyə gəlirik:

1. Bir fazanın qırılması halı üçün alınmış ifadələr ikifazlı yerlə QQ zamanı, iki fazın qırılma halı üçün isə bir fazlı QQ zamanı alınmış ifadələrə oxşardır.
2. Bir və ya iki fazın qırılması müqavimətlərin qoşulmasından yaranan qeyri – simmetrikliyin xüsusi hallarıdır; onlar üçün hesabat formullarını Z = ∞ qəbul edərək (5.58) ÷ (5.62)-dən almaq olar.

5.5.4. Birqat uzununa qeyri – simmetrikliyin hesablama alqoritmi

Müxtəlif növ uzununa qeyri – simmetrikliklərə baxılan zaman simmetrik mürəkkəbələr üçün alınmış ifadələrin xarakteri bütün növ

uzununa qeyri – simmetrikliklər üçün ümumi hesablama qaydasını ifadə etməyə imkan verir:



Şəkil 5.28 Bir fazanın qırılması zamanı gərginliyin simmetrik mürəkkəbələrinin paylanması: a – prinsipial sxemi; b, c, ç – düz, əks və sıfır ardıcıllıqların əvəz sxemləri; d – gərginliklərin epürü

1. Düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların əvəz sxemini tərtib edərək qırılma yerinə $\Delta \mathbf{U}_{LA1}$, $\Delta \mathbf{U}_{LA2}$, $\Delta \mathbf{U}_{L0}$ (*şək. 5.28*-ə bax) EHQ qoşulur;
2. Qırılma nöqtəsinə nisbətən düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların ümumi müqavimətləri təyin edilir;
3. Düz ardıcıllıq sxeminin ekvivalent EHQ E_{Σ} tapılır;
4. Düz ardıcıllıq cərəyanı bütün növ qeyri – simmetrikliklər üçün ümumi olan ifadədən hesablanır:

$$\mathbf{I}_{LA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{jx_{L1\Sigma} + \mathrm{Z}_{\Delta}^{(n)}}.$$

5. $\mathbf{I}_{\mathrm{LA1}}$ – cərəyanının məlum qiyməti üzrə cərəyanın simmetrik mürəkkəbələri və qeyri – simmetriklik yerində gərginlik düşgüləri təyin edilir;
6. Hər bir ardıcıllığın sxemi üçün qırılmanın bir tərəfinin gərginliyi hesablanır. Bunun üçün sxemin başlanğıcının potensialı (*şək. 5.28* -də *H* nöqtəsi) sıfıra bərabər qəbul edilir və məlum cərəyanlar üzrə L_1, L_2, L_0 nöqtələrin potensialları təyin olunur;
7. Qeyri – simmetriklik yerində cərəyanın və gərginlik düşgüsünün simmetrik mürəkkəbələrini, həmçinin qeyri – simmetrikliyin ətraf (kənar) hissələri üzrə gərginliyi bilərək onların tam qiymətləri hesablanır.

5.5.5. Bir fazanın qırılması zamanı gərginliyin paylanması

Natamam faz rejiminin parametrlərinin hesabatının vacib mərhələsi periferiya nöqtələrində bu rejimin parametrlərini təyin etməkdir. Belə hesablama qeyri – simmetriklik yerindən elektriki uzaq qovşaqlarda qeyri – simmetrikliyin səviyyəsini qiymətləndirməyə, həmçinin sistemin xətləri üzrə güc ötürülməsinin mümkün olan həddini hesablamağa imkan verir.

Şək. 3.2-də göstərilən elektrik sistemi sxeminin bir hissəsinə baxaq. Fərz edək ki, A3, A4 və A6 açarlrı açıqdı, sistemin bir hissəsi isə T – 2 transformatorunun 35 kV-luq şininə birləşdirilib və o

ümumiləşdirilmiş yüklə verilib. Bu cür alınmış sxem *şək. 5.28*, *a*-da göstərilib. Xəttin başlanğıcında *A* fazının qırılması üçün düz, əks və sıfır ardıcıllıqların əvəz sxemləri *şək. 5.28 b, ç*-də göstərilib.

Müxtəlif ardıcıllıqların gərginliyinin epürünü qurmaq üçün hər bir ardıcıllığın sxeminə ayrılıqda baxmaq lazımdır.

Düz ardıcıllıq sxemi üçün

$$\mathbf{U}_{L1A} = \mathbf{E}_G - j\mathbf{I}_{LA1}\left(x_G + x_{T1}\right),$$

burada $\mathbf{I}_{LA1} = \dfrac{\mathbf{E}_G}{j\left(x_{L1\Sigma} + x_{L\Delta}^{(1)}\right)}$ – düz ardıcıllıq cərəyanıdır.

$L_1^{/}$ qırılma nöqtəsində gərginlik $\mathbf{U}_{L1A}^{/} = \mathbf{U}_{L1A} - \Delta\mathbf{U}_{LA1}$ -ə bərabərdir. Sxemin hər hansı bir elementində gərginlik düşgüsünü hesablayaraq gərginlik əyrisini qururuq (*şək. 5.28*, *d*-də U_1 əyrisi).

Əks – ardıcıllıq sxemində qırılma yerinin sol tərəfində gərginliyi aşağıdakı formul ilə hesablayaq:

$$\mathbf{U}_{L2A} = 0 - j\mathbf{I}_{LA2}\left(x_{G2} + x_{T1}\right) = j\mathbf{I}_{LA1}\frac{x_{L0\Sigma}\left(x_{G2} + x_{T1}\right)}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}}.$$

Qırılma yerinin digər tərəfində aşağıdakını alarıq:

$$\mathbf{U}_{L2A}^{/} = \mathbf{U}_{L2A} - \Delta\mathbf{U}_{LA2}.$$

Sıfır ardıcıllıq sxemində qırılma yerinin kənarları üzrə gərginlik yuxarıda göstərilənə oxşar təyin olunur:

$$\mathbf{U}_{L0} = 0 - j\mathbf{I}_{L0}\left(3x_P + x_{T1}\right) = j\mathbf{I}_{LA1}\frac{x_{L2\Sigma}\left(3x_P + x_{T1}\right)}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}},$$

$$\mathbf{U}_{L0}^{/} = \mathbf{U}_{L0} - \Delta\mathbf{U}_{L0}.$$

Əks və sıfır ardıcıllıqların gərginliklərinin epüri *şək. 5.28*, *d*-də (U_2 və U_1 əyriləri) göstərilib. Sxemin aralıq nöqtələrində bütün

ardıcıllıqların gərginliklərini bilərək vektor diaqramını qurmaq olar. Bu zaman transformatorların birləşməsinin 5.4.7 bəndində yerinə yetirildiyi qaydada olmasını nəzərə almaq lazımdır. Qırılma yerində gərginliklərin vektor diaqramı *şək. 5.24*-də təqdim olunub.

5.6. QEYRİ – SİMMETRİKLİYİN MÜRƏKKƏB NÖVLƏRİ

Zədələnmələrin mürəkkəb növləri eyni zamanda bir neçə yerdə QQ-nin olması, fazların qırılması və ya bu və digərinin eyni zamanda baş verməsi zamanı yaranır. Sistemin iki nöqtəsində eyni zamanda həm eninə , həm də uznuna qeyri-simmetrikliyin baş vermə ehtimalı mövcuddur. Daha mürəkkəb zədələnmələrin ehtimalı kiçik olduğuna görə, praktiki baxımdan sistemin yalnız iki nöqtəsində simmetrikliyin eyni zamanda pozulması halına baxılır.

Mürəkəb zədələnmələrin tədqiqinə sərbəst problem olaraq çoxsaylı elmi monoqrafiyalar həsr olunmuşdur.

5.6.1. İkiqat yerlə qapanma

Fərz edək ki, neytralı yerdən izalə olunmuş şəbəkədə eyni zamanda ikiqat yerlə qapanma baş verir. Bu halda sadələşdirmə məqsədilə, qəbul olunur ki, QQ metalikdir və dövrənin bütün elementləri induktiv müqvimətlə təsvir olunur. Qəbul edək ki, yerlə qapanma eyni zamanda M və N nöqtəsində baş verir (*şək. 5.29*), onda əvvəlki paraqraflarda baxılanlara anoloji olaraq zədələnmə yerində sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\mathbf{I}_{MA} = 0, \quad \mathbf{I}_{MC} = 0, \quad \mathbf{U}_{MB} = 0,$$

$$\mathbf{I}_{NA} = 0, \quad \mathbf{I}_{NB} = 0, \quad \mathbf{U}_{NC} = 0,$$

$$\mathbf{I}_{MB} = -\mathbf{I}_{NC}. \qquad (5.63)$$

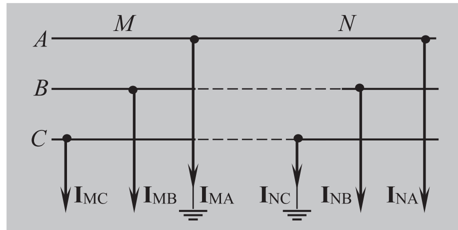
Zədələnmiş A fazını əsas qəbul edərək, sərhəd şərtlərindən irəli qələn nisbətləri yazaq:

$$\mathbf{I}_{MB1} = \mathbf{I}_{MB2} = \mathbf{I}_{M0}, \quad (5.64)$$

$$\mathbf{I}_{NC1} = \mathbf{I}_{NC2} = \mathbf{I}_{N0}, \quad (5.65)$$

$$\mathbf{I}_{MA2} = \mathbf{a}\mathbf{I}_{MA1}, \quad \mathbf{I}_{M0} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{MA1}, \quad (5.66)$$

$$\mathbf{I}_{NA2} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{NA1}, \quad \mathbf{I}_{N0} = \mathbf{a}\mathbf{I}_{NA1}, \quad (5.67)$$



Şək. 5.29. İkiqat yerlə qapanma

$$\mathbf{U}_{MB1} + \mathbf{U}_{MB2} + \mathbf{U}_{M0} = \mathbf{a}^2\mathbf{U}_{MA1} + \mathbf{a}\mathbf{U}_{MA2} + \mathbf{U}_{M0} = 0,$$

$$\mathbf{U}_{NC1} + \mathbf{U}_{NC2} + \mathbf{U}_{N0} = \mathbf{a}\mathbf{U}_{NA1} + \mathbf{a}^2\mathbf{U}_{NA2} + \mathbf{U}_{N0} = 0.$$

(5.64) ÷ (5.67) nəzərə alınmaqla (5.63) şərtindən $\mathbf{I}_{NA1} = -\mathbf{a}\mathbf{I}_{MA1}$ alarıq. Bu bərabərlik göstərir ki, hər iki yerlə qapanma yerində cərəyanların simmetrik mürəkkəbələri bir – biri ilə əlaqəlidir.

Sıfır ardıcıllıqlı sxem üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\mathbf{U}_{N0} - \mathbf{U}_{M0} = j\mathbf{I}_{M0}x_{MN0}.$$

İkiqat yerlə qapanma yerində cərəyan və gərginliklərin hesabat qaydası və vektor diaqramına *şəkil 5.30*-da göstərilən sxemin nümunəsində baxaq. Bu şəkildə həmçinin düz və sıfır ardıcıllıqların əvəz sxemləri verilmişdir.

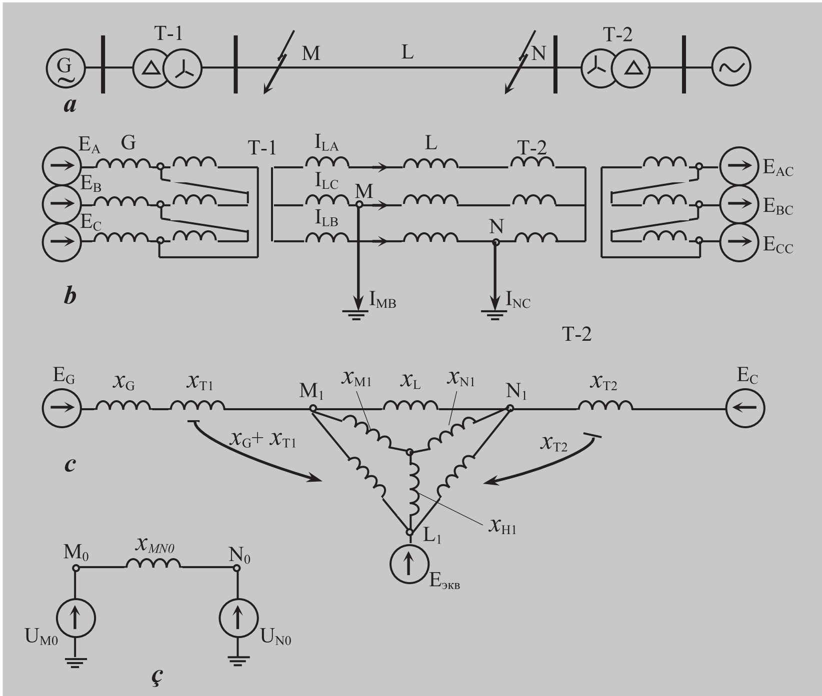
Bütün EHQ -lər qısa qapanma zamanı əks və düz ardıcıllıqlı sxemi təkrarlayır $\mathbf{E}_G = \mathbf{E}_C = \mathbf{E}_{ekv} = \mathbf{E}$ qəbul edərək (5.74) ifadəsi üzrə düz ardıcıllığın cərəyanını tapırıq. (5.73) ifadəsi qeyri – simmetriklik rejimi ifadəsinin ümumi həllinə baxılan zaman əldə edilib:

$$\mathbf{I}_{MA1} = \frac{\left(1-\mathbf{a}^2\right)\mathbf{E}}{j\left(3x_{H1}+x_{M1}+x_{N1}+x_D\right)},$$

burada

$$x_D = 3x_{H2} + x_{M2} + x_{N2} + x_{MN0}; \qquad (5.68)$$

x_{H2}, x_{M1}, x_{N1}, - $M_1N_1L_1$ üçbucağın ulduza çevrilməsi (şəkil 5.30, *ç*) ilə alınan düz ardıcıllığın müqavimətləridir;
x_{H2}, x_{M2}, x_{N2}, – həmçinin əks – ardıcıllığın müqavimətləridir;
x_{MNO} – QQ nöqtələri arasında sıfır ardıcıllıqlıların müqavimətidir.



Şək. 5.30. İkiqat yerlə qapanma: a – prinsipial sxemi; b – düz ardıcıllığın üçxətli sxemi; c, ç – düz və sıfır ardıcıllıqların birxətli sxemləri

Əks və sıfır ardıcıllıqlıların cərəyanı aşağıdakı formul ilə hesablanır:

$$\mathbf{I}_{MA2} = \mathbf{a}\,\mathbf{I}_{MA1}, \qquad \mathbf{I}_{M0} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{MA1}.$$

Yerlə qapanma yerlərində zədələnmiş fazalardakı cərəyanlar vektor diaqramı üzrə təyin olunur:

$$\mathbf{I}_{MB} = 3\mathbf{a}^2\mathbf{I}_{MA1} = -\mathbf{I}_{NC}.$$

M və *N* nöqtələrində müxtəlif ardıcıllıqların gərginlikləri aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\mathbf{U}_{MA1} = \mathbf{E}_{екv} - j\mathbf{I}_{M0}\left[\left(\mathbf{a}-\mathbf{a}^2\right)x_{H1} + \mathbf{a}x_{M1}\right] = U_{MA1}e^{j\phi_1},$$

$$\mathbf{U}_{MA2} = -j\mathbf{I}_{M0}\left[\left(\mathbf{a}^2-\mathbf{a}\right)x_{H2} + \mathbf{a}^2x_{M2}\right] = U_{MA2}e^{j\phi_2},$$

$$\mathbf{U}_{M0} = -\left(\mathbf{a}^2\mathbf{U}_{MA1} + \mathbf{a}\mathbf{U}_{MA2}\right) = U_{M0}e^{j\phi_0},$$

$$\mathbf{U}_{NA1} = \mathbf{E}_{ekv} - j\mathbf{I}_{M0}\left[\left(\mathbf{a}-\mathbf{a}^2\right)x_{H1} - \mathbf{a}^2x_{N1}\right] = U_{NA1}e^{j\xi_1},$$

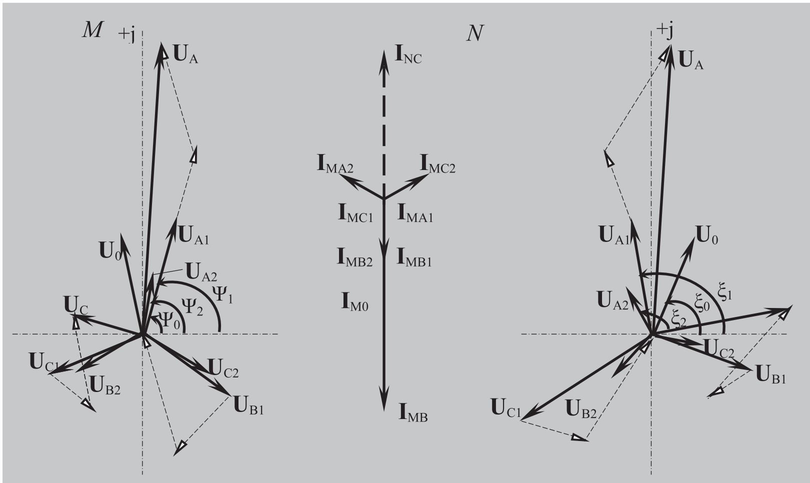
$$\mathbf{U}_{NA2} = -j\mathbf{I}_{M0}\left[\left(\mathbf{a}^2-\mathbf{a}\right)x_{H2} - \mathbf{a}^2x_{N2}\right] = U_{NA2}e^{j\xi_2},$$

$$\mathbf{U}_{N0} = -\left(\mathbf{a}\mathbf{U}_{NA1} + \mathbf{a}^2\mathbf{U}_{NA2}\right) = U_{N0}e^{j\xi_0}.$$

QQ yerlərində cərəyan və gərginliklərin vector diaqramları *şəkil 5.30*-da göstərilib. Diaqramın qurulmasının düzgünlüyünün kriteri (meyarı), məsələn, ($\mathbf{U}_{N0}$ – $\mathbf{U}_{M0}$) vektorunun $\mathbf{I}_{M0}$ vektoruna perpendikulyar olmasıdır.

Ümumi halda mürəkkəb qeyri – simmetrikliyin hesablanması üçün düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların əvəz sxemlərini *şəkil 5.31*-də göstərilən vəziyyətə gətirirlər. Sıfır ardıcıllığın sxemi hesablanan şəbəkənin neytralı yerlə bilavasitə birləşdirildikdə yaxud kompensasiya olunduqda düz və əks ardıcıllıqlıların konfiqurasiyasını alırıq.

Düz ardıcıllıq sxeminə daxil olan $E_{MA} - E_{NA}$ EHQ-lər [2, əlavə 1, səh. 495]-də verilmiş çevirmə ilə təyin olunur. L1 nöqtəsində bir ekvivalent EHQ $\mathbf{E}_{ekv}$ qoşulduğu halda (*şəkil 5.30*, *c*-yə bax) $\mathbf{E}_{MA} = \mathbf{E}_{NA} = \mathbf{E}_{ekv}$ olur.



Şəkil 5.31. İkiqat yerlə qapanma zamanı vektor diaqramı

QQ nöqtəsində 12 naməlumu (hər iki nöqtədə hər bir ardıcıllığın üç gərginliyini və üç cərəyanını) təyin etmək mümkün olduqda ikiqat QQ zamanın ümumi həlli alına bilər. Bunun üçün qeyd olunan dəyişənləri ələqələndirən 12 tənliyi tərtib etmək lazımdır. Bu tənliklərin həlli axtarılan
dəyişənləri təyin etməyə imkan verəcəkdir. Birinci altı tənlik sərhəd şərtləridir [5, (117) tənliyi]. Bunlara müxtəlif ardıcıllıqların sxemlərindən alınan tənlikləri əlavə etmək lazımdır (*şəkil 5.32*-ə bax):

$$\mathbf{U}_{MA1} = \mathbf{E}_{MA} - j\mathbf{I}_{MA1}\left(x_{M1} + x_{H1}\right) - j\mathbf{I}_{NA1}x_{H1},$$

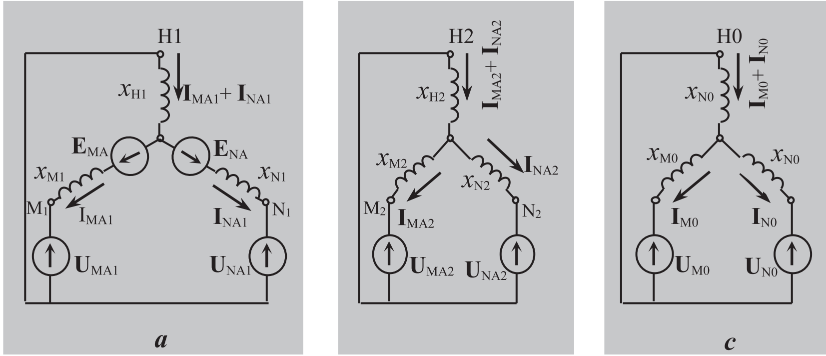
$$\mathbf{U}_{NA1} = \mathbf{E}_{NA} - j\mathbf{I}_{MA1}x_{H1} - j\mathbf{I}_{NA1}\left(x_{N1} + x_{H1}\right),$$

$$\mathbf{U}_{MA2} = -j\mathbf{I}_{MA2}\left(x_{M2} + x_{H2}\right) - j\mathbf{I}_{NA2}x_{H2}, \quad (5.69)$$

$$\mathbf{U}_{NA2} = -j\mathbf{I}_{MA2}x_{H2} - j\mathbf{I}_{NA2}\left(x_{N2} + x_{H2}\right), \quad (5.70)$$

$$\mathbf{U}_{M0} = -j\mathbf{I}_{M0}\left(x_{M0} + x_{H0}\right) - j\mathbf{I}_{N0}x_{H0}, \quad (5.71)$$

$$\mathbf{U}_{N0} = -j\mathbf{I}_{M0}x_{H0} - j\mathbf{I}_{N0}\left(x_{N0} + x_{H0}\right). \quad (5.72)$$



Şəkil 5.32. İkiqat yerlə qapanma zamanı düz (a), əks (b), sıfır (c) ardıcıllıqların əvəz sxemləri

Bütün məchulları $\mathbf{I}_{MA1}$ cərəyanları vasitəsi ilə əvəz edərək, cərəyanın aşağıdakı ifadəsini alırıq:

$$\mathbf{I}_{MA1} = \frac{\mathbf{E}_{MA} - a^2\mathbf{E}_{NA}}{j\left(3x_{H1} + x_{M1} + x_{N1} + x_D\right)},$$

burada x_D (5.67) formulu üzrə hesablanır.

Cərəyanın tapılmış qiyməti ikiqat QQ yerinin qalan 11 naməlumunu təyin etməyə imkan verəcəkdir.

5.6.2. Fazın qırılması ilə baş verən birfazlı QQ

Fərz edək ki, neytralı yerlə birbaşa birləşdirilmiş şəbəkədə bir fazın naqili qırılıb, onun bir ucu yerlə birləşib, digər ucu isə

izolyasiya olunmuş vəziyyətdə qalmışdır. Zədələnmə yerində sərhəd şərtləri (*şək. 5.33*):

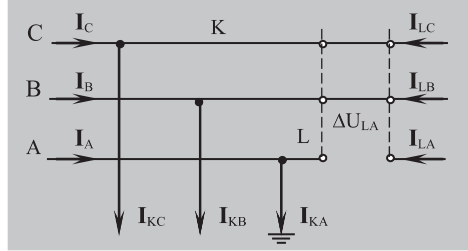
$$\mathbf{I}_{KB}=0,\quad \mathbf{I}_{KC}=0,\quad \mathbf{U}_{KA}=0,$$
$$\mathbf{I}_{LA}=0,\quad \Delta\mathbf{U}_{LB}=0,\quad \Delta\mathbf{U}_{LC}=0.$$

Sərhəd şərtlərindən
Görünür ki,

$$\mathbf{I}_{KA1}=\mathbf{I}_{KA2}=\mathbf{I}_{K0},$$

$$\mathbf{U}_{KA1}+\mathbf{U}_{KA2}+\mathbf{U}_{K0}=0,$$

$$\mathbf{I}_{LA1}+\mathbf{I}_{LA2}+\mathbf{I}_{L0}=0,$$



Şək. 5.33.Bir fazanın qırılması ilə baş verən bir fazlı QQ

$$\Delta\mathbf{U}_{LA1}=\Delta\mathbf{U}_{LA2}=\Delta\mathbf{U}_{L0}.$$

Bu tənliklərə (5.7), (5.8), (5.34) və (5.35) ifadələrini əlavə edək. Alınmış tənliklər sistemini $\mathbf{U}_{KA1}$ və $\Delta\mathbf{U}_{LA1}$-ə nisbətən həll edərək, aşağıdakı ifadələri yaza bilərik:

$$\mathbf{U}_{KA1}=j\mathbf{I}_{KA1}x_K+j\mathbf{I}_{LA1}x_{KL},$$
$$\Delta\mathbf{U}_{LA1}=j\mathbf{I}_{KA1}x_{KL}+j\mathbf{I}_{LA1}x_L. \qquad (5.73)$$

burada

$$x_K=x_{K2}+x_{K0}-\frac{\left(x_{KL2}-x_{KL0}\right)^2}{x_{L2}+x_{L0}};$$

$$x_L=\frac{x_{L2}x_{L0}}{x_{L2}+x_{L0}};\quad x_{KL}=-\frac{x_{KL2}x_{L0}+x_{KL0}x_{L2}}{x_{L2}+x_{L0}};$$

x_{K2} və x_{K0} – L nöqtəsində sxemin tam qırılması halında QQ nöqtəsinə nisbətən əks və sıfır ardıcıllıqlar sxemlərinin reaktivliyidir;

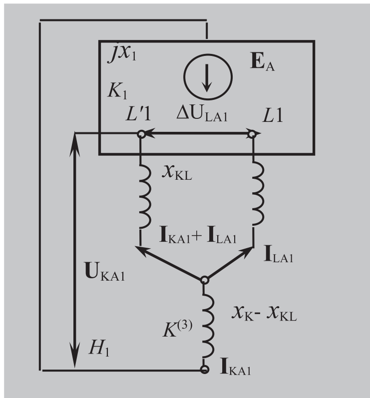
x_{L2} və x_{L0} – həmçinin, QQ olmayan hallarda qırılma yerinə nisbətən reaktivliklərdir;

x_{KL2} və x_{KL0} – müvafiq ardıcıllıqların sxemlərində qırılma yeri və QQ nöqtəsi arasında qarşılıqlı reaktivliklərdir.

(5.73) ifadələrinin hər ikisinin sağ tərəfinə iki eyni, lakin işarəcə əks olan toplananlar əlavə edərək, çevirmə aparıb aşağıdakı ifadələri alarıq:

$$\mathbf{U}_{KA1} = j\mathbf{I}_{KA1}x_K + j\mathbf{I}_{LA1}x_{KL} + j\mathbf{I}_{KA1}x_{KL} - j\mathbf{I}_{KA1}x_{KL} =$$
$$= j\mathbf{I}_{KA1}\left(x_K - x_{KL}\right) + j\left(\mathbf{I}_{KA1} + \mathbf{I}_{LA1}\right)x_{KL},$$
$$\mathbf{U}_{LA1} = j\mathbf{I}_{KA1}x_{KL} + j\mathbf{I}_{LA1}x_L + j\mathbf{I}_{LA1}x_{KL} - j\mathbf{I}_{LA1}x_{KL} =$$
$$= j\left(\mathbf{I}_{KA1} + \mathbf{I}_{LA1}\right)x_{KL} + j\mathbf{I}_{LA1}\left(x_L - x_{KL}\right).$$

Axırıncı tənliklərə *şəkil 5.33*-də göstərilən əvəz sxemi uyğundur. Sxemdən aydın olur ki, $K^{(3)}$ nöqtəsində düz ardıcıllıq cərəyanı K1 və L1 nöqtələri və x_{KL}, $x_K - x_{KL}$, $x_L - x_{KL}$ müqavimətləri ilə əlaqəli olaraq QQ – nın ekvivalent cərəyanı kimi tapılır. Qeyri – simmetrikliyin hər iki yerində cərəyan və gərginliklərin yerdə qalan simmetrik mürəkkəbələri sərhəd şərtlərindən və (5.69) ÷ (5.72) əlaqə tənliklərindən irəli gələn əlaqələr üzrə hesablanır.



Şək. 5.33. Fazanın qırılması ilə baş verən bir fazalı QQ üçün düz ardıcıllıq üçün hesabat sxemi

Əgər göstərilən bütün mənbələrin EHQ-ləri bir – birinə bərabər olarsa, həmçinin düz və əks ardıcıllıqların parametrləri bərabər olarsa, onda QQ yerində həmin fazanın qırılması zamanı düz ardıcıllığın cərəyanı aşağıdakı formul ilə təyin olunacaq:

$$\mathbf{I}_{KA1} = \frac{\mathbf{E}_{A1}}{j\left(x^{(1)} + ax_{(L)}\right)}, \quad (5.74)$$

burada $x^{(1)} = 2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma}$ – K nöqtəsində fazanın qırılması ilə baş verəməyən birfazalı QQ halı üçün yekun reaktivlikdir;

$x_{L1} = x_{L2}$ və $x_{KL1} = x_{KL2}$ olduqda

$$a = \left(\frac{x_{KL0}}{x_{L0}} + 2\frac{x_{KL1}}{x_{L1}}\right)^2; \quad x_{(L)} = \frac{x_{L1}x_{L0}}{x_{L1} + 2x_{L0}}$$

(5.74) ifadəsindən görünür ki, QQ-nın və fazanın qırılmasının eyni vaxtda baş verməsi, fazanın qırılmayan halı ilə müqayisədə, QQ cərəyanının azalmasına səbəb olur.

YOXLAMA SUALLARI

1. Elektrik sistemlərində qeyri – simmetrik rejimlərin hesablanması üçün simmetrik mürəkkəbələr metodunun tətbiqində onun üstünlükləri və çatışmayan cəhətləri nədən ibarətdir?
2. Qeyri – simmetrik rejimlərin hesablanmasında elektrik sisteminin müxtəlif elementlərinin təqdim olmasının xüsusiyyətləri hansılardır?
3. Müxtəlif ardıcıllıqların əvəz sxeminin başlanğıcı və sonu nə deməkdir?
4. Qeyri – simmetrik QQ cərəyanının hesablanması alqoritmini göstərin.
5. Kompleks əvəz sxeminin tərtibi prinsipləri nədən ibarətdir?
6. Birqat uzununa qeyri – simmetrikliyin hesablanması alqoritmini göstərin.

7. Qısaqapanma yerində müxtəlif QQ-lərın cərəyanları arasında nisbətlər necədir?
8. Qeyri – simmetrikliyin mürəkkəb növləri termini dedikdə nə başa düşülür və onların hesablanmasına yanaşma necədir?

VI FƏSİL

UZAQ MƏSAFƏLƏRƏ ELEKTRİK VERİLİŞİNDƏ ELEKTROMAQNİT KEÇİD PROSESLƏRİ VƏ MÜHAFİZƏNİN İŞLƏMƏSİNƏ ONLARIN TƏSİRİ

Çox uzaq məsafələrə elektrik verilişinin normal və keçid rejimləri elektromaqnit enerjisinin paylanmasının dalğa xarakterli olması və xəttin xüsusi parametrlərinin nisbətləri ilə xarakterizə olunur. Elektromaqnit keçid prosesinin gərginlik və cərəyanlarının tərkibində periodik sərbəst mürəkkəbələr yaranır. Keçid rejiminin cərəyan və gərginliklərini aşağıdakı şəkildə təqdim etmək olar:

$$U(t), i(t) = f(t) = f_{mec}(t) + \sum_{i=1}^{m} f_{am}(t) + \sum_{j=1}^{\infty} f_{n\,j}(t), \qquad (6.1)$$

burada $f_{məc}$(t) – məcburi mürəkkəbələrdir;

$\sum_{i=1}^{m} f_{am}(t), \sum_{j=1}^{\infty} f_{pj}(t)$ - müvafiq olaraq aperiodik və periodik sərbəst mürəkkəbələrdir.

Gərginliyi 500 kV və ondan yüksək olan şəbəkələrin etibarlı işləməsini təmin etmək üçün xəttin əsas mühafizəsinin işəsalma orqanlarının təsir müddəti 0.04 saniyədən çox olmamalıdır. Uzunluğu 1000 km və yuxarı olan xətlərdə elektromaqnit keçid

prosesinin sönmə müddəti saniyənin onda biri qədərdir, ona görə də mühafizənin keçid prosesi şəraitində işləməsi lazım gəlir.

Müasir mühafizələrin çox hissəsi sənaye tezliyi parametrlərinin dəyişməsinə reaksiya verir. Periodik sərbəst mürəkkəbələrin təsirini azaltmaq üçün xüsusi tezlik süzgəclərindən istifadə olunur. Lakin, onlar problemləri tamamilə həll etmir, ona görə ki, QQ zamanı uzun xəttin müəyyən hissəsində cərəyan və gərginliyin tərkibində sənaye tezliyinə yaxın olan tezlikdə periodik sərbəst mürəkkəbələr yaranır. Bu, süzgəcin buraxma zolağının daraldılmasını tələb edir ki, o da öz növbəsində işəsalma orqanlarının təsir müddətini artırır. Ona görə də, süzgəclərin tətbiqi imkanlarından imtina məsələsi meydana çıxır. Onun həlli üçün periodik sərbəst mürəkkəbələrin dəyişmə qanunauyğunluğunu müəyyən etmək və onu istifadə edə bilən mühafizənin yeni üsulunu işləmək zəruriyyəti yaranır. Sonradan cərəyan və gərginliklərin ani qiymətlərinin əyriləri tezliklərə ayrılır və (6.1) formasına gətirirlər.

6.1. PERİODİK SƏRBƏST MÜRƏKKƏBƏLƏRİN PARAMETRLƏRİNİN HESABLAMA METODU

Paylanmış parametrli xətlərdə elektromaqnit prosesləri diferensial tənliklər sisteminin xüsusi törəmələri ilə təsvir edilir:

$$-\frac{\partial U}{\partial x} = r_0 i + L_0 \frac{\partial i}{\partial t}, \qquad \frac{\partial i}{\partial x} = g_0 U + C_0 \frac{\partial U}{\partial t}, \tag{6.2}$$

burada r_0, g_0, L_0, C_0 – xəttin xüsusi parametrləridir.

Elektromaqnit keçid proseslərinin hesablama metodlarını iki qrupa bölmək olar: tezlik və dalğa metodları. Birinci halada Furye formasında (6.2) sisteminin həlli əsasında yerinə yetirilir, ikinci halda isə sistemi həll etmək üçün Dalamber formasından istifadə olunur.

Dalğa metodu ilə keçid proseslərinin hesabatının parametrləri və alqoritmi [26] -da, tezlik metodu ilə – [27] verilib. *Dalğa metodu* hesabat ifadələrinin sadəliyi və elektrik sisteminin elementlərinin

qeyri – xəttilik xarakteristikalarının nəzərə alınma imkanlarına görə fərqlənərək hesabatın nəticəsini keçid rejiminin parametlərini ani qiymətlər şəklində verir. Bu, keçid proseslərinin mühafizəsinin işləməsinə təsirini qiymətləndirmək üçün əlavə çevirmələr aparmadan onların istifadə olunmasını mümkünsüz edir. *Tezlik metodu* hesbatların nəticəsini məcburi və sərbəst mürəkkəbələrin cəmi şəkilində verdiyindən qeyri – xətti sxemlərdə hesablama aparmağa imkan vermir, ona görə ki, bu metodlar cəmləmə (toplama) prinsipinə əsaslanır. Uzaq məsafələrə elektrik verilişinin xüsusiyyətləri (boşaldıcıların olması, keçid prosesini parametrlərinə tac boşalmasının əhəmiyyətli dərəcədə təsiri) boşaldıcıların və tacın qeyri – xəttilik xarakterindən tezlik metodlarının burada istifadəsini istisna edir.

Sərbəst mürəkkəbələrin parametrlərinin hesabatı məsələsi gizli periodikliyin ayrılma metodu ilə həll olunur və aşağıdakı kimi ifadə olunur. (–*L*, *L*) sonluq intervalında X(t) funksiyası verilib. Bu, fasiləsiz yazma ilə (qrafiklə və ya cədvəllə) qiymətlər yığımı şəklində diskret zaman anında təqdim oluna bilər.

X(t) funksiyası ilə təsvir olunan istənilən prosesi iki mürəkkəbənin cəmi şəklində yazmaq olar:

$$X(t) = \theta(t) + \sum_{i=1}^{v} Y_i(t),$$

burada θ(t) – periodik olmayan prosesdir (xətadır); $\sum Y_i(t)$ – x(t) prosesində gizlənmiş periodik komponentlərin cəmidir və aşağıdakı formul ilə təyin olunur.

$$\sum_{i=1}^{v} Y_i(t) = \sum_{i=1}^{v} A_i \sin(\Omega_i t + \Phi_i)$$

(burada A_i müstəqil amplitud, Φ_i – *i* –inci harmonikasının fazası, Ω – tezklikdir).

Çox hallarda X(t) prosesini poliharmonik qəbul edirlər.

$$X(t) = Y(t) = \sum_{i=1}^{v} A_1 \sin(\omega_i t + \Phi_i).$$

Gizli periodikliyin parametrlərinin hesablanması məsələsi A_i, ω_i, Φ_i parametrlərinin təyininə gətirib çıxarır və periodik komponentlərin parametrlərinin hesablanması üçün X(t) ilkin funksiyasında çevirmələrin aparılma məsələsi kimi də qoyula bilər. Gizli periodikliyin ayrılma metodlarının icmalı [28] –də verilib. Burada bütün metodlar ancaq periodik komponentlərin tezliyinin təyininə, onların tezliyinin, amplitudunun və fazasının təyininə bölünüb.

Elektromaqnit keçid proseslərinin mühafizənin işləməsinə təsirinin tədqiqi məsələsi periodik komponentlərin bütün parametrlərinin təyin olunmasını tələb edir. Ona görə də, sərbəst mürəkkəbələrin hesablanması üçün tədqiq olunan $X(t)$ funksiyası ilə determinasiya olunmuş funksiya arasında qarşılıqlı korrelyasiyanın xüsusiyyətlərini istifadə edən metod seçilmişdir:

$$C(t) = B\sin(\omega t + \Psi),$$

burada B – sabit kəmiyyətdir; ω – tezliyin bərabərliyi şərtindən seçilən dairəvi dəyişən tezlikdir və çevirmə nəticəsində təyin edilir; Ψ – Φ_i –dən asılı olmayan tezlikdir.

$X(t)$ və $C(t)$ funksiyaları arasında qarşılıqlı – korrelyasiya funksiyası üçün ifadə aşağıdakı kimidir:

$$R_{XC}(\tau) = \int_0^T X(t)C(t+\tau)h(t)dt,$$

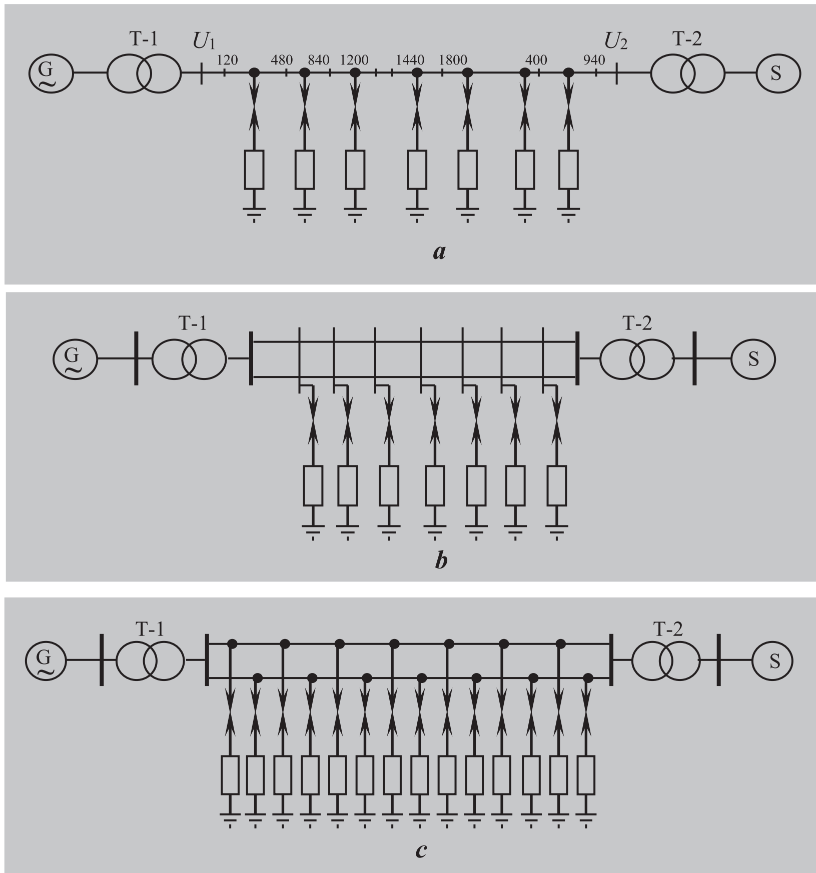
burada $h(t)$ – çəki funksiyasıdır, belə ki, $0 < t <$ T olduqda $h(t) = \frac{1}{T}$

və $t < 0 >$ T olduqda $h(t) = 0$ –dır.

Sərbəst mürəkkəbələrin alqoritmi, proqramı və hesabatın nəticəsi [29] –da verilib.

6.2. UZAQ MƏSAFƏLƏRƏ ELEKTRİK VERİLİŞİNİN SXEMLƏRİ

Uzaq məsafələrə elektrik verilişinin sxeminin üç variantı mümkündür: blok şəkilli, rabitəli və yarımblok şəkilli (*şəkil 6.1*).



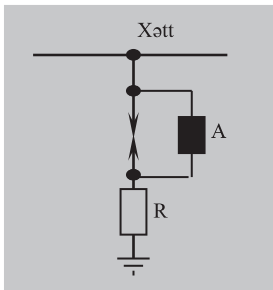
Şək. 6.1. Uzaq məsafələrə elektrik verilişinin icra sxemləri (HX–1150, l =3000 km): a – blok şəkilli; b – rabitəli, c – yarımblok şəkilli variantlar

Ən sadə və ucuz variant b l o k ş ə k i l l i variantdır. Lakin onun tətbiqi qəbuledici sistemdə istehlakçıların qidalanmasının

etibarlığının tələbləri ilə məhdudlaşır. Bu məhdudiyyət 1150 kV gərginliklə uzaq məsafəyə elektrik verilişində xüsusilə əhəmiyyət kəsb edir, çünki burada bir blokun gücü 5 – 6 mln. kVt təşkil edir ki, onun işdən çıxması qəbuledici sistemin rejiminə təsir etməyə bilməz, hətta onun gücü kifayət qədər böyük olsa da. Elektrik verilişi blokunun açılması qəbuledici sistemində kifayət qədər ehtiyat gücün olmasını tələb edir; o, istehlakçıların böyük bir hissəsinin elektrik təchizatının kəsilməsinə səbəb ola bilər. Bu həll istənilən halda iqtisadi cəhətdən effektiv deyildir

Əgər bir fazanı açmaqla yaranan qeyri – simmetrik rejim iş rejimi kimi nəzərdə tutularsa, onda blok variantının tətbiq sahəsi xeyli genişlənmiş olar. Postsovet məkanının, elmi – tədqiqat energetika institutlarında 1960 – 70-ci illərdə yerinə yetirilmiş işlərdə, həmçinin Azərbaycan Respublikasının enerji sisteminin istismarı prosesində elektrik verilişi xətti üçün belə rejimlərin həyata keçirilməsinin mümkünlüyü sübut olunmuşdur. Bu tədqiqat işləri elektrik xətlərinin normal rejim gücünün 2/3 –nə qədər buraxma qabiliyyəti saxlanılmaqla xüsusi sxem üzrə yerinə yetirilmişdir.

Uzaq məsafələrə elektrik enerjisinin *rabitəli* variantla verilişi, uzunluğu nisbətən böyük olmayan bir sıra ardıcıl sahələrdə çevirici məntəqələri ilə xəttin seksiyalanmasını nəzərdə tutur. Tədqiqatlar göstərir ki, rabitəli sxemlər xəttin səkkiz sahəyə bölünməsi zamanı effektiv işləyə bilər (*şəkil 6.2*). Bu, qəzadan sonrakı rejimdə sahələrdən birinin dövrəsi açılan zaman işçi hədd gücünün 80% – nın ötürülməsini təmin edir. Xəttin rabitəli variantının istifadə olunması hər hansı bir sahənin açılması zamanı gərginliyin arzu edilməyən rejiminin yaranması, özünətəsirlənmənin mümkünlüyü və dinam keçidin mürəkkəbliyi ilə əlaqədar olan çətinliklərlə üzləşir.



Şək. 6.2. Reaktorun prinsipial sxemi

Uzaq məsafələrə elektrik verilişinin icrasının yarımblok variantında stansiyanın generatorları iki dövrəli hava xətti vasitəsilə işləyirlər. Keçid proseslərin xüsusiyyətrləri nöqteyi – nəzərindən bu

variant qəbuledici sistemin və ya ötürücü stansiyanın yaxınlığında qısaqapanmanın olması halları, QQ yerinin bir qolunun uzunluğu dalğa uzunluğuna yaxın olduqda maraq kəsb edir.

Hər üç sxemin xarakterik xüsusiyyətləri onlarda birləşdirilmiş aktiv müqavimət və qığılcım aralığından ibarət olan xüsusi boşaldıcılardan istifadə olunmasıdır (*şək.l 6.2*). Boşaldıcının qoşulduğu nöqtədə gərginlik kritik qiymətə çatdığı anda qığılcım aralığı deşilir və boşalma *R* aktiv müqaviməti vasitəsilə boşalır. Qığılcım aralığı deşildikdən sonra, normal iş rejimi zamanı açıq vəziyyətdə olan *A* açarı dövrəyə qoşulur. Kritik gərginlik 1.8 $U_{f\,\max}$-a bərabər qəbul edilir. Rabitəli sxemdə boşaldıcılar hər bir çevirici məntəqədə, blok və yarımblok sxemlərində isə xəttin bir – birindən bərabər məsafələrdə olan yeddi nöqtəsində xəttə birləşdirilirlər.

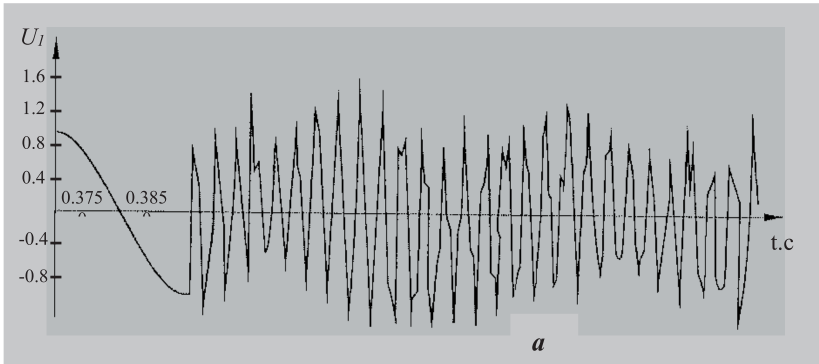
6.3. UZAQ MƏSAFƏYƏ ELEKTRİK VERİLİŞİNDƏ QQ ZAMANI PERİODİK SƏRBƏST MÜRƏKKƏBƏLƏR

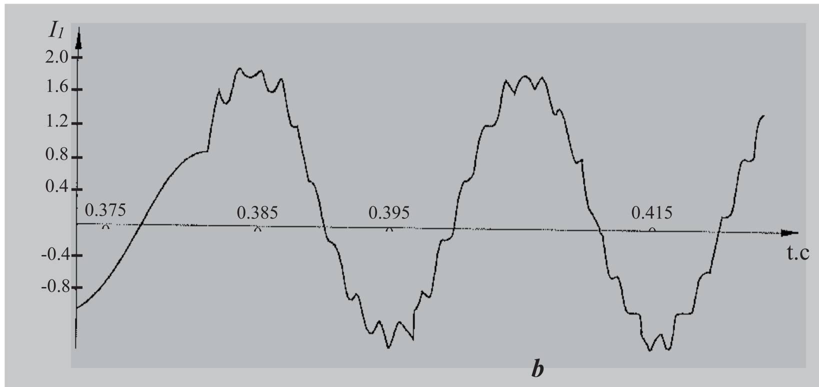
Sərbəst mürəkkəbələrin hesablanmasıı və analizini sadələşdirməyin mümkün olduğu uzaq məsafəyə elektrik verilişinin (UMEV) blok variantında icrasına baxaq. Bu variant üçün keçid prosesinin bir neçə seriya hesabatı yerinə yetirilmişdir.

Qısaqapanma zamanı cərəyan və gərginliklərin hesabatı *şəkil 6.1*-də göstərilən nöqtələrdə, xəttin başlanğıc və sonunda yerinə yetirilib. Həm simmetrik, həm də qeyri – simmetrik birfazalı QQ-yə baxılmışdır. QQ-nın hesabat şərtləri [30] -da təyin edilib: sərbəst mürəkkəbələrin tezliyi üçün QQ-nın qoşulma bucağı sənaye tezliyindən yüksəkdir – π/2-yə və sənaye tezliyindən aşağı tezliklər və aperiodik mürəkkəbələr üçün isə sıfıra bərabərdir; əvvəlki rejim – natural güc rejimi, xüsusi faza – *A*. Xəttin başlanğıcından 120 km məsafədə üçfazlı QQ zamanı xəttin əvvəlində və sonunda cərəyan və gərginliyin dəyişməsi *şəkil 6.3*-də göstərilib.

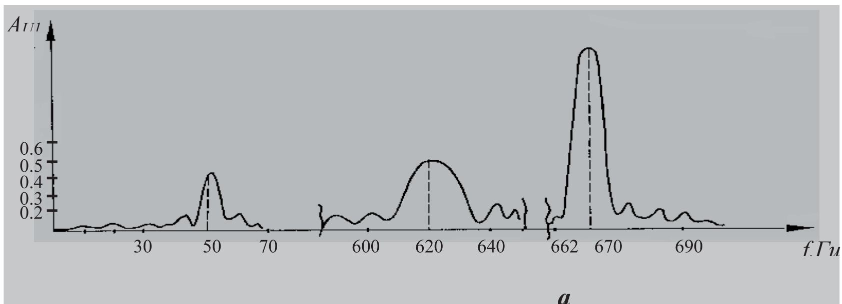
Gərginlik və cərəyanların əyriləri onların tərkibində ali harmonik mürəkkəbələrin olduğunu göstərir. 6.1 bölməsində təsvir edilmiş metodla bu əyrilərin tezlik analizi gərginliyin sərbəst mürəkkəbələrinin parametrlərini təyin etməyə imkan verir, amplitud

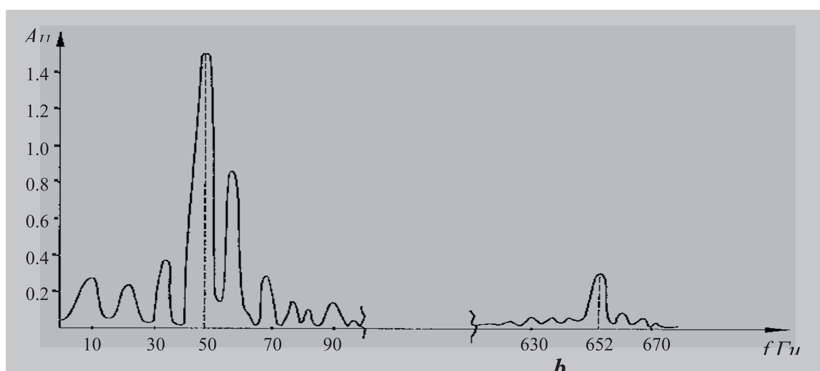
– tezlik xarakteristikasını almağa şərait yaradır (*şəkil 6.4*). *Şəkil 6.1*-də göstərilən nöqtələrdə keçid proseslərinin





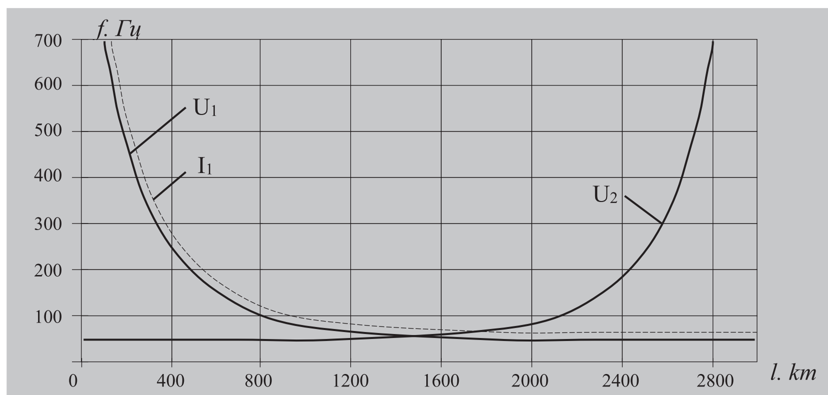
Şək.l 6.3. Xəttin başlanğıcından 120 km məsafədə üçfazalı QQ zamanı gərginliyin (a) və cərəyanın (b) əyriləri





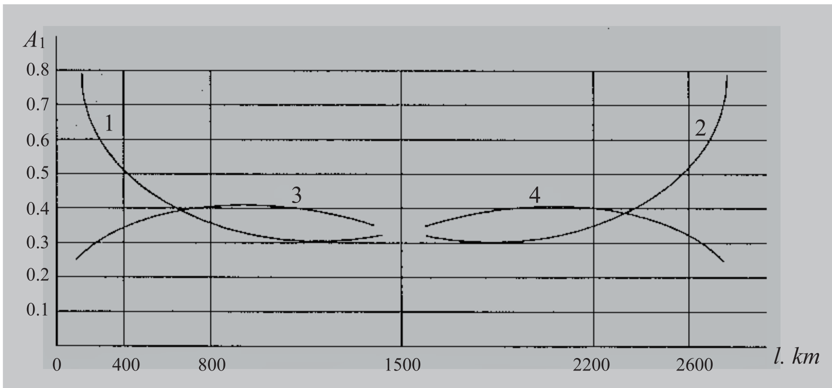
Şəkil 6.4. Gərginliyin (a) və cərəyanın (b) amplitud – tezlik xarakteristikaları

Şək. 6.6-da qoşma bucağının iki qiymətində gərginliyin 1-ci mürəkkəbələrinin amplitudunun QQ nöqtəsinə qədər olan məsafədən asılılığı verilib. İfrat yüksək gərginlikli xətlər üçün xarakterik olan səth effekti, tac, həmçinin boşaldıcının işləməsi kimi hadisələr sərbəst mürəkkəbələrin tezliyi və amplituduna əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Bu amillərin təsirinin öyrənilməsi [30 – 32] aşağıdakıları göstərir:



Şək. 6.5. Sərbəst mürəkkəbələrin tezliyinin QQ yerinə qədər olan məsafədən asılılığı

– hava xəttində QQ zamanı keçid prosesini müşayət edən tac boşalması sərbəst mürəkkəbələrin tezliyini cüzi (3 – 5%) dəyişir və amplitudunu isə 20 – 30% azaldır;
- boşaldıcının işləməsi sərbəst mürəkkəbələrin tezliyinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir etmir. O, keçid prosesinin sönməsini xeyli sürətləndirir və sərbəst mürəkkəbələrin amplitudunu 20 – 30% azaldır;
– səth effektinin sərbəst mürəkkəbələrin tezliyinə təsiri hiss olunmayan səviyyədədir.



Şək. 6.6. Gərginliyin birinci mürəkkəbələrini amplitudunun QQ nöqtəsinə qədər məsafədən asılılığı, qoşma bucağı α = π/2 (1,2 əyriləri) u α = 0 (3,4 əyriləri) olduqda

6.4. UZAQ MƏSAFƏLİ ELEKTRİK VERİLİŞİ XƏTLƏRİNİN MÜHAFİZƏ METODU VƏ ONUN SƏRBƏST MÜRƏKKƏBƏLƏRDƏN KƏNARLAŞDIRILMASI

İfrat yüksək gərginlikli elektik verilişi xətləri (500 – 1150kV) elektroenergetika sistemində keçid prosesinin formalaşmasında təyinedici rola malikdir.

Müasir elektroenergetika sistemləri pzlərinin mürəkkəb strukturları ilə xarakterizə olunur. Generasiya güclərinin və eləcə də

elektroenergetika sistemlərinin əlaqə və sistemdaxili xətlərinin uzunluğunun artması inların idarə olunmasının mürəkkəbləşməsinə və çoxölçülüyünə səbəb olur. Bunlar, sitemin idarəetmə strukturunun təkmilləşdirilməsi zəruriyyəti yaradır. Hazırda stasionar rejimin idarə olunması enerjisistemin fəaliyyəti çərçivəsində dispetçerlər tərəfindən həyata keçirilir, lakin, qısa zaman müddətlərində və yüksək surətlə dəyişən həyacanlanmış və keçid rejimlərinin idarə olunması müstəqil fəaliyyət göstərən rele mühafizəsinin avtomatik sistemləri və sistem avtomatikaları vasitəsi ilə yerinə yetirilir.

Enerjisistemin idarə olunmasının təkmilləşdirilməsinin əsas istiqaməti normal və qəza rejimlərinin kompleks idarə olunmasını yerinə yetirən avtomatlaşdırılmış idarəetmə sisteminə keçməkdir. Mikroprosesslər bazası əsasında bu işin yerinə yetirilməsi yeni idarəetmə alqoritminin işlənməsini tələb edir, ona görə ki, rele mühafizəsi qurğularında həyata keçirilən alqoritmlərdən istifadə hazırda effektiv hsab olunmur. Elektrik verilişi xəttinin istənilən uzunluğu və həyacanlanmış rejimində avtomatik idarə etməni həyata keçirməyə imkan verən alqoritm qismində xəttin mühafizə olunan sahəsinin bir tərəfinin sonunda rejimin faktiki parametrlərinin, obyektdə zədələnmənin olmadığı fərz edilərək xəttin digər tərəfinin sonundakı rejim haqqındakı informasiyanın əsasında hesablanmış parametrləri ilə fasiləsiz müqayisə olunması təklif olunur. Bu halda elektrik verilişi xəttinə dördqütblü kimi baxıla bilər və həmin dördqütblüdə normal rejimdə cərəyan və gərginlik aşağıdakı əlaqələrlə bir – biri ilə əlaqəlidir:

$$\mathbf{U}_1 = \mathbf{AU}_2 + \mathbf{BI}_2,$$
$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{CU}_2 + \mathbf{DI}_2.$$

Baxdığımız sahədən kənarda olan bütün zədələnmə hallarında bu əlaqələr hər zaman qüvvədədir, həyacanlanma olduqda isə mütənasiblik pozulur və aşağıdakı şəkli alır:

$$\mathbf{U}_1 = \mathbf{AU}_2 + \mathbf{BI}_2 + \mathbf{B}_K\mathbf{I}_K, \qquad (6.3)$$
$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{CU}_2 + \mathbf{DI}_2 + \mathbf{D}_K\mathbf{I}_K, \qquad (6.4)$$

burada $\mathbf{B}_k$ və $\mathbf{D}_k$ – xəttin mühafizə olunan sahəsinin başlanğıcından qısaqapanma nöqtəsinə qədər olan parametrləridir. Xəttin mühafizə olunan hissəsinin başlanğıcında normal və qəza rejimlərində gərginlik və cərəyanlar arasındakı fərq aşağıdakı formullarla hesablanır:

$$\Delta\mathbf{U}_1 = \mathbf{B}_K \mathbf{I}_K, \tag{6.5}$$

$$\Delta\mathbf{I}_1 = \mathbf{D}_K \mathbf{I}_K. \tag{6.6}$$

$\Delta\mathbf{U}_1$ və $\Delta\mathbf{I}_1$ qiymətlərinin müqayisəsi əsasında qısaqapanmanın mühafizə zonasında və ya ondan kənarda olması təyin edilir.

Mühafizənin iş prinsipi bu kəmiyyətlərdən birinin ölçülməsinə əsaslanır [33]. İstifadə olunan (6.5) və ya (6.6) tənliyindən asılı olaraq mühafizə cərəyana və ya gərginliyə görə və ya kombinasiya olunmuş şəkildə yerinə yetirilə bilər. Mühafizənin iş prinsipi onun blok – sxemı. *Şəkil 6.7*-də verilib.

Mühafizə aşağıdakı qaydada işləyir. Gərginlik $\mathbf{U}_2$ və cərəyan $\mathbf{I}_2$ müvafiq ardıcıllıqların 2 və 1 süzgəclərinə verilir (əks – qeyri – simmetrik QQ –dən mühafizə üçün və düz – üçfazalı QQ –dən mühafizə üçün). Sonra alınmış $\mathbf{U}_2$ gərginliyi və $\mathbf{I}_2$ cərəyanı dörd qütblünün A və B parametrlərini modelləşdirən 4 və 5 elementlərinin girişinə verilir. $\mathbf{AU}_2$ və $\mathbf{BI}_2$ gərginlikləri 4 və 5 elementlərinin girişində cəmlənir və zolaq süzgəci 6-nın girişinə verilir, 6 süzgəci formalaşmış gərginlikdən birinci harmonikanı ayırır. Beləliklə, cəmləyicinin girişində $\mathbf{AU}_2 + \mathbf{BI}_2$ gərginliyi yaranır. Xəttin digər tərəfinin sonunda $\mathbf{U}_1$ gərginliyi müvafiq ardıcıllığın 3 gərginlik süzgəci 7 zolaq süzgəci vasitəsilə informasiyanın çevrilməsi və ötürülməsi 13 elementinə verilir, sonra rabitə kanalı ilə o, 12 qurğusuna daxil olur, oradan isə cəmləyiciyə verilir. Cəmləyicinin çıxışındakı $\mathbf{U}_1 - (\mathbf{AU}_2 + \mathbf{BI}_2)$ gərginliyi gücləndirici vasitəsilə mütləq qiymətlərin müqayisəsi sxeminin girişinə verilir və orada o, $\mathbf{U}_1$ gərginliyi ilə müqayisə olunur.$(\mathbf{U}_1 - \mathbf{AU}_2 - \mathbf{BI}_2)\ K > \mathbf{U}_1$ bərabərsizliyini yerinə yetirən zaman müqayisə sxemi reaksiya verici orqana siqnal verir. Bundan sonra xəttin mühafizə olunan sahəsinin açılması baş verir.

Beləliklə, cəmləyiciyə bir tərəfdən $\mathbf{U}_1$, digər tərəfdən isə – $\mathbf{AU}_2$ + $\mathbf{BI}_2$ verilir. Normal rejimdə, həmçinin zonadan kənar zədələnmələr zamanı bu iki siqnalın fərqi nəzəri cəhətdən sıfıra bərabər olur və (6.1) formuluna uyğundur. Praktiki olaraq gərgininliyin kiçik qeyri – balansıdır. Zona daxilində (7) qısaqapanma zamanı mühafizənin ölçmə orqanına $\mathbf{B}_k\mathbf{I}_k$ gərginlik siqnalı verilir ((6.3 və (6.4) bərabərliklərinə bax). Bu siqnalla mühafizə işləməyə başlayır.

Şəkil 6.7. Parametrik mühafizənin blok - sxemi:
1 – müvafiq ardıcıllığın cərəyan süzgəci; 2,3 – müvafiq ardıcıllığın gərginlik süzgəcləri; 4,5 – dördqütblünün müvafiq B və A parametrlərini modelləşdirən elementləri; 6,7 – zolaq süzgəcləri; 8 –cəmləyici; 9 –gücləndirici; 10 –mütləq qiymətlərin müqayisəsi sxemi; 11 – mühafizənin reaksiya verən orqanı; 12,13 – informasiyanı çevirən və xəttin digər tərəfinə göndərən qurğu

Periodik sərbəst mürəkkəbələrin arzuolunmaz təsirindən mühafizəni qorumaq bloklayıcı vasitəsilə həyata keçirilir ki, bu səhvən (qeyri – selektiv) işləməni istisna edir.

YOXLAMA SUALLARI

1. Uzaq məsafələrə elektrik verilişinin yerinə yetirilməsinin hansı əsas sxemləri mövcuddur?
2. Böyük uzunluqlu elektrik verilişində keçid prosesinin hansı xüsusiyyətləri vardır?
3. Uzaq məsafələrə elektrik verilişində sərbəst mürəkkəbələrin hesablama metodları nəyə əsaslanmışdır?
4. Uzaq məsafələrə elektrik verilişində QQ zamanı sərbəst mürəkkəbələrin hesablama metodları nəyə əsaslanmışdır?
5. Uzaq məsafələrə elektrik verilişi xəttinin sərbəst mürəkkəbələrdən mühafizənin istisna olunması necə həyata keçirilir?

VII F Ə S İ L

NEYTRALI İZALƏ OLUNMUŞ ŞƏBƏKƏLƏRDƏ VƏ GƏRGİNLİYİ 1 KV-yə QƏDƏR OLAN ELEKTRİK QURĞULARINDA KEÇİD PROSESLƏRİ

Neytralı izalə olunmuş 6–35 kV gərginlikli elektrik şəbəkələri istehlakçıların çox hissəsinin elektrik təchizatını həyata keçirən paylayıcı şəbəkəni yaradır. Paylayıcı şəbəkələrin etibarlığı daha yüksək gərginlikli şəbəkələrə nisbətən xeyli aşağıdır. Statistik məlumatlara əsasən elektrik təchizatında olan fasilələrin 70 – 80 % onların payına düşür.

Paylayıcı şəbəkələrin bir neçə xarakterik xüsusiyyətlərini göstərmək olar:

1. 6 – 35 kV –luq şəbəkələr qidalanma mənbəyindən elektriki olaraq xeyli uzaqda yerləşir, onlarda olan keçid prosesləri elektrik sisteminin generatorlarının işinə az təsir edir, ona görə də paylayıcı şəbəkədə olan istənilən qəza zamanı elektrik sisteminin transformasiyasının yüksək pilləsinin gərginliyi sabit qalır. Bu yerli stansiyalara, böyük güclü elektrik mühərriklərinə və kompensatorlara aid edilmir, çünki onlar ayrıca nəzərə alınırlar:
2. Paylayıcı şəbəkələr keçid prosesi müddətində naqillərin qızması səbəbindən artan kiçik en kəsikli, böyük aktiv müqavimətli naqillərlə yerinə yetirirlər. QQ cərəyanlarının hesabatı zamanı aktiv müqavimətin nəzərə alınması vacibdir;
3. Paylayıcı şəbəkələrin xeyli hissəsi polad – alüminium və ya polad naqillərlə yerinə yetirilir. Belə xətlərdə böyük

cərəyanlar (200A-dən çox) axan zaman onların induktiv müqaviməti kəskin azalır. Polad naqillərlə yerinə yetirilmiş xətlərin cəmi induktiv müqavimətini 0,5 Om/m-ə bərabər qəbul etmək olar;

4. Böyük aktiv müqavimətə malik olan naqillərlə, böyük cərəyanlar axdıqda onların qızması yüksək olur. Naqilin temperaturunun artması onun aktiv müqavimətini artırır, bu isə öz növbəsində naqillə buraxılan cərəyanın azalmasına səbəb olur. Bu effekt QQ cərəyanının *istilik düşgüsü* adlanır;
5. Paylayıcı şəbəkələrdə statik kondensator batareyalarından geniş istifadə olunur. Onlar gərginliyin tənzimlənməsi üçün yük düyünlərində quraşdırılır və şəbəkənin texniki – iqtisadi göstəricilərini xeyli yüksəldir. Əgər QQ batareyanın qoşulduğu yerlə və ya ona elektriki yaxın yerdə baş verərsə, o zaman batareya həm də cərəyan mənbəyi rolunu oynayır. Lakin, batareyanın boşalması yüksək tezlikli rəqsi xarakterli olduğundan, boşalma çox tez başa çatır. Rəqslərin sönməsi elə böyük sürətlə gedir ki, sənaye tezliyinin yarım periodundan sonra onlar praktiki olaraq yox olur. Ona görə də QQ cərəyanlarının hesablanması zamanı batareyanın təsirini nəzərə almamaq olar;
6. Paylayıcı 6...35 kV-luq şəbəkələrdə fazın yerlə qapanması zamanı cərəyan şəbəkənin tutum keçiriciliyi ilə təyin olunur və o neytralı yerlə birbaşa birləşdirilmiş şəbəkələrdə birfazlı QQ zamanı yaranan cərəyandan xeyli kiçikdir. Odur ki, neytralı izalə olunmuş şəbəkələrdə fazın yerlə qapanma hallarında o fəaliyyətini uzun müddət davam etdirə bilər. Bu, istismar heyətinə imkan verir ki, QQ yerini təyin edib istehlakçıları şəbəkədən açmadan müvəqqəti elektrik təchizat sxemini yaratsın;
7. Gərginliyi 1000 V-a qədər olan elektrik qurğularında paylayıcı şəbəkələrin bir neçə xüsusiyyətləri daha böyük dərəcədə özünü biruzə verir: reaktivə nisbətən aktiv müqavimətin artması, istehlakçıların qidalanma mənbəyindən elektriki daha uzaq məsafədə yerləşməsi. Bundan əlavə burada aşağıda nəzərdən keşirilən kontakt birləşmələrinin müqavimətinin, QQ yerində keçid

müqavimətinin və s. nəzərə alınmasının vacibliyi kimi spesifik xüsusiyyətlər də yaranır.

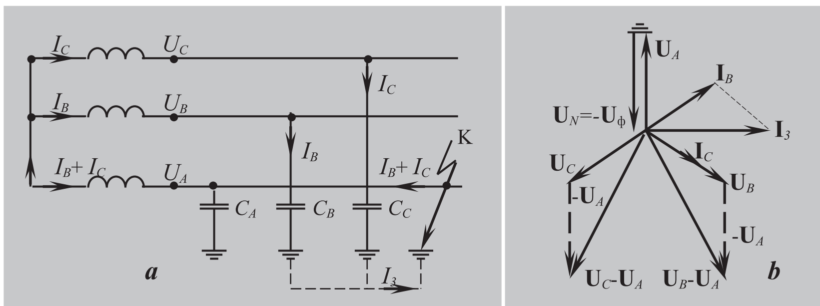
8.

7.1. NEYTRALI İZALƏ OLUNMUŞ ŞƏBƏKƏLƏRDƏ FAZIN YERLƏ QAPANMASI

Neytralı izalə olunmuş şəbəkələrdə fazanın yerlə qapanması *sadə qapanma* adlanır və burada cərəyan şəbəkənin tutum müqaviməti ilə təyin olunur. Şəbəkə elementlərinin tutum müqaviməti onların induktiv və aktiv müqavimətlərindən xeyli çox olur və bu cərəyanın təyin olunması zamanı axırıncıları nəzərə almamağa imkan verir. A fazında QQ baş vermiş elementar üçfazlı şəbəkəyə baxaq (*şək. 7.1*, *a*).

B və C fazalarında cərəyanlar aşağıdakı şəkildə təyin olunur (*şəkil 7.1, b*):

$$\mathbf{I}_B = \left(\mathbf{U}_B - \mathbf{U}_A\right) j\omega C_B = jU_A\left(\mathbf{a}^2 - 1\right) j\omega C_B =$$
$$= U_A \omega C_B \left(1 - \mathbf{a}^2\right) = \sqrt{3}\, U_A \omega C_B e^{j30^0},$$
$$\mathbf{I}_C = \left(\mathbf{U}_C - \mathbf{U}_A\right) j\omega C_C = jU_A\left(\mathbf{a} - 1\right) j\omega C_C =$$
$$= U_A \omega C_C \left(1 - \mathbf{a}\right) = \sqrt{3}\, U_A \omega C_C e^{-j30^0}.$$



Şəkil 7.1. Yerlə sadə qapanma: a – cərəyanların paylanması sxemi; b – vektor diaqramı

$C_A = C_B = C_C = C$ və $U_A = U_B = U_C = U_f$ sadələşdirmələrini nəzərə alaraq $\mathbf{I}_B$ və $\mathbf{I}_C$ cərəyanlarının modulları aşağıdakı kimi hesablanır

$$I_B = I_C = \sqrt{3} U_f \, \omega C.$$

Yerlə axan cərəyan I_B və I_C cərəyanlarının həndəsi cəmi kimi təyin olunur:

$$I_y = 3U_f \, \omega C.$$

Praktiki hesabatlarda yerlə qapanma cərəyanının təqribi qiymətləndirilməsi aşağıdakı formul ilə yerinə yetirilir:

$$I_y = \frac{\sqrt{3} U_{or.nom} \, \omega C}{N} l(A),$$

burada $U_{or.nom}$ – pillənin orta nominal faza gərginliyi;

N – hava elektrik veriliş xətti üçün 300 –ə bərabər, kabel xətti üçün

10 –a bərabər olan əmsaldır;

l – yerlə qapanma nöqtəsi ilə elektriki əlaqəli olan kabel və ya hava xəttinin cəmi uzunluğudur, km.

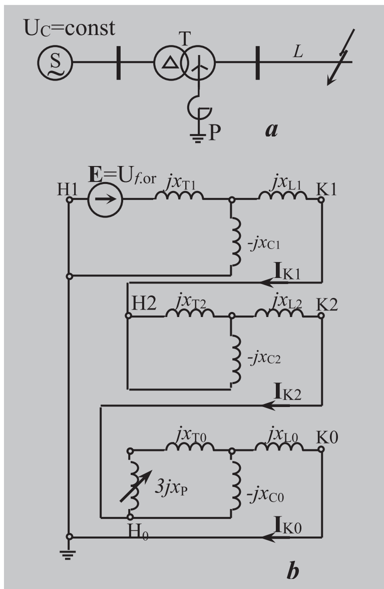
Belə qiymətləndirmə o deməkdir ki, yerlə qapanma cərəyanının qiyməti qapanma yerindən asılı deyil və şəbəkə xəttinin uzunluğunun cəmi ilə təyin olunur.

7.2. FAZIN YERLƏ QAPANMA TUTUM CƏRƏYANININ KOMPENSASİYASI

3 – 20 kV gərginlikli şəbəkələrdə və uzunluğu böyük olmayan hava və kabel xətlərində fazın yerlə qapanma cərəyanı bir neçə amper təşkil edir. Bu halda qövs dayanıqsız olur və öz – özünə sönür. Odur ki, belə şəbəkələr sadə qapanma rejimində işləyə bilər. Şəbəkənin gərginliyi və uzunluğunun artırılması yerlə qapanma

cərəyanının onlarla və yüzlərlə amperə qədər artmasına gətirib çıxarır. Belə cərəyanlar zamanı qövs uzun müddət yana bilər, bəzi hallarda o, qonşu fazaya keçir və nəticədə birfazlı qapanma iki və üçfazalı qapanma ya çevrilir.Qövsün tez bir zamanda söndürülməsi neytralın qövsöndürücü aparat vasitəsilə yerlə birləşdirilməsi və yerlə qapanma cərəyanının kompensasiyası hesabına əldə olunur.

Hazırda qövsöndürücü aparat qismində çox hallarda qövsöndürücü reaktorlardan istifadə olunur.Neytralın yerlə birləşdirilməsi ilk dəfə Peterson sarğacı adlanan drossel sarğacı vasitəsilə yerinə yetirilmişdir. Fazanın yerlə qapanma cərəyanının kompensasiyası prinsipi elementar şəbəkədə *A* fazasının qapanması zamanı kompleks əvəz sxemi *şəkil 7.2, a*-da göstərilib. Şəbəkə sabit gərginlikli şinə qoşulmuş transformator və



Şəkil 7.2. Yerlə sadə qapanma: a – prinsipial sxemi; b – kompleks əvəz sxemi

xəttdən ibarətdir. Sıfır ardıcıllıqlı sxemlərin tutum üqavimətlərinin cəminin onun düz və əks ardıcıl lıqlarının müqavimətindən xeyli çox olduğu fərz edilərək yerlə qapanma yerində simmetrik mürəkkəbələr təyin olunur, yəni

$$x_{1\Sigma} \cong x_{2\Sigma} \cong 0$$

qəbul olunmasına imkan verir. (5.6) – (5.8) -ə uyğun olaraq aşağıdakıları alarıq:

$$\mathbf{U}_{KA1} = \mathbf{E}_{A\Sigma} = \mathbf{U}_{f.or},$$

$$\mathbf{U}_{KA2} = 0 - jx_{2\Sigma}\mathbf{I}_{K2} \cong 0,$$

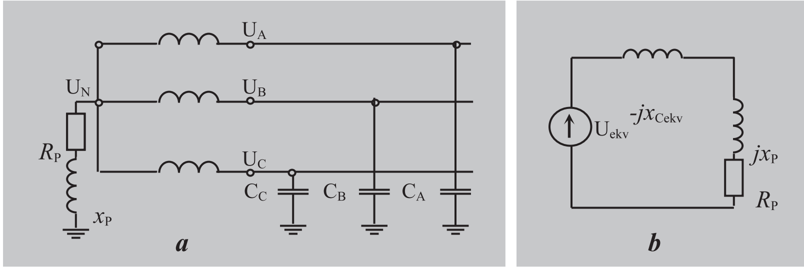
$$\mathbf{U}_{K0} = jx_{0\Sigma}\mathbf{I}_{K1} = -\mathbf{U}_{f.or},$$

Kompleks əvəz sxeminə (*şəkil 7.2*, *b*) simvolik olaraq xətt və transformatorun induktiv müqavimətləri bütün ardıcıllıqları ilə daxil edilmişdir, baxmayaraq ki, onlar çox kiçikdir və sıfıra bərabər qəbul edilir. Bu sxemdən görünür ki, sadə yerlə qapanma cərəyanını məhdudlaşdırmaq üçün transformatorun neytralını induktivlik vasitəsilə yerlə birləşdirmək lazımdır. İnduktivliyin qiyməti elə seçilməlidir ki, sıfır ardıcıllıq sxemində cərəyanlar rezonansı yaransın. Bu zaman $x_{0\Sigma} = \infty$ halı yerlə qapanma cərəyanının tamamilə yox olması deməkdir. Transformator və xəttin induktiv müqavimətlərini nəzərdən ataraq təyin edirik ki, rezonans $x_r = x_{c0}/3$ zamanı baş verir. Qövssöndürücü reaktorun köməyi ilə birfazalı yerlə qapanma cərəyanı on dəfələrlə azaldılır. Bu isə qapanma yerində qövsün söndürülməsi üçün kifayətdir. Şəbəkənin normal iş rejimində hər zaman neytralda kiçik sürüşmə olur, yəni neytralın potensialı həmişə sıfırdan fərqlənir. Bu elektrik verilişi xətlərində fazaların qeyri – simmetrikliyi səbəbindən yaranır ki, onu paylayıcı şəbəkələrdə aradan qaldırmaq mümkün olmur. Neytralın sürüşməsi adətən faza gərginliyinin 3 – 4%–ni təşkil edir ki, bu da tamamilə yol veriləndir və təhlükə yaratmır. Lakin neytrala qövssöndürücü reaktor qoşulan zaman onun potensialı xeyli arta bilər. *Şək. 7.3*, *a*-da prinsipial sxemi verilmiş üçxətli əvəz sxeminə baxaq.

Qövssöndürücü reaktor olmayan şəbəkələrin neytralında gərginlik aşağıdakı bərabərliklə təyin olunur:

$$\mathbf{U}_N = \mathbf{U}_{ekv} = \frac{\mathbf{U}_A b_A + \mathbf{U}_B b_B + \mathbf{U}_C b_C}{b_A + b_B + b_C},$$

burada $b = j\omega C$ – fazanın tutum keçiriciliyidir.



Şəkil 7.3. Neytralın potensialının təyini üçün sxem: üçxətli (a) və ekvivalent (b) əvəz sxemləri

Sistemin tam simmetrikliyi halı üçün, yəni $\mathbf{U}_A + \mathbf{U}_B + \mathbf{U}_C = 0$ və $b_A = b_B = b_C$ olduqda neytralda gərginlik $U_{N0} = 0$ olur. Reaktorun qoşulması zamanı

$$\mathbf{U}_{NR}\frac{\mathbf{U}_{ekv}}{\dfrac{1}{3j\omega C}+j\omega L_R+R_R}\left(R_R+j\omega L_R\right)=\mathbf{U}_{K0}\frac{R_R+j\omega L_R}{R_R+j\left(\omega L_R-\dfrac{1}{3\omega C}\right)}$$

$R_R << \omega L_R$ olduğunu qəbul edərək, aşağıdakını alarıq:

$$\left|U_{NR}\right|=\left|U_{N0}\right|=\frac{\omega L_R}{\sqrt{R_R^2+\left(\omega L_R-\dfrac{1}{3\omega C}\right)^2}} \qquad (7.1)$$

Yerlə qapanma tutum cərəyanının tam kompensasiyası zamanı ($\omega L_R = 1/3\omega C$) alarıq:

$$\left|U_{NR}\right|=\left|U_{N0}\right|=\frac{\omega L_R}{R_R},$$

yəni neytrala reaktor qoşulduğu halda neytralın potensialı neytralda reaktor olmadığı zaman mövcud olan U_{N0} potensialından reaktorun induktiv müqavimətinin onun aktiv müqavimətindən böyük olduğu qədər olacaqdır. x_R/R_R-nin nisbəti onluqlara çata bilər, neytralın potensialı isə faza gərginliyindən çox ola bilər ki, bu da yol verilməzdir. Neytralın potensialının azaldılması (7.1) tənliyindən

göründüyü kimi U_{N0}-nu qiymətin azaldılması və ya rezonans konturunun pozulması ilə əldə oluna bilər.

Neytralı rezonanslı yerlə birləşdirilən sistemlərdə U_{N0}–nu azaltmaq məqsədilə fazaların tutumlarını simmetrikləşdirmək üçün naqillərin transpozisiyası yerinə yetirilir, yəni dayaqda faza naqillərinin asılma yerləri dəyişdirilir. Elektrik qurğularının quraşdırılma qaydalarına (EQQQ –yə) görə fazalar üzrə yerə nisbətən tutumların qeyri – simmetriklik dərəcəsi 0,75% –dən çox olmamalıdır.

Rezonans konturunun köklənməsinin, qövsün söndürülmə şəraitinin pisləşməsinə səbəb olmayacaq dərəcədə kiçik pozulması, transpozisiyası olmayan şəbəkələrdə xüsusilə effektivdir. Konturun köklənməsinin pozulması əlavə (artıq) kompensasiya istiqamətində aparılır. Bu hər hansı bir xəttin hissəsində fazalardan birinin açılmasından sonra tam kompensasiya rejiminə keçidi istisna edir.

Elektrik qurğularının quraşdırma qaydalarına əsasən [21] tutum cərəyanları yol verilən həddən çox olduğu halda yerlə qapanma tutum cərəyanlarının kompensasiyasını tələb edir (aşağıdakı cədvəldə xətləri dəmir və dəmir – beton dayaqlarda çəkilmiş şəbəkələrdə tutum cərəyanlarının yol verilən qiymətləri mötərizədə göstərilib).

Müxtəlif sinif gərginlikli şəbəkələrdə xətlərin uzunluğunun təxmini qiymətləri və həmin gərginliklərə müvafiq olaraq yol verilən cərəyanların qiymətləri

Gərginlik sinfi, кV	Yerlə qapanma cərəyanının yolverilən qiyməti, A	Şəbəkənin 100кm uzunluğu üçün yerlə qapanma cərəyanları, A		Şəbəkənin yol verilən uzunluğu, кm	
		Hava xətti	Kabel xətti	Hava xətti	Kabel xətti
3	30(10)	0.9	31.5	3333(1110)	95
6	30(10)	1.8	63	1667(555)	47.6
10	20(10)	3	105	660(330)	35
15	15(10)	–	–	–	–
20	15(10)	–	–	–	–
35	10	10.6	375	94	2.6

EQQQ fazası yerlə qapanan şəbəkələrin işinin davam etmə müddətini məhdudlaşdırmır. Buna baxmayaraq, sadə yerlə qapanma istehlakçıların iş rejimini pozmur o, mümkün qədər tez aşkar olunmalı və ləğv edilməlidir. Ona görə ki, yerləqapanma yeri hər zaman insanlar və heyvanlar üçün təhlükəlidir və bir fazanın qapanmasının fazalararası qapanmaya çevrilmə ehtimalı həmişə mövcüddur.

M ə s ə l ə 7.1. Ümumi uzunluğu 200km hava xəttlərindən ibarət olan 37kV gərginlikli şəbəkədə sadə metalik yerlə qapanma zamanı cərəyanı təyin edin.

Xətt: naqil AC – 95, naqillər üçbucağın təpə nöqtələrində yerləşib, naqillər arası məsafə d_{AB} = 4,06m, d_{AC} = 3,5m, d_{BC} = 3,09m; naqillərin sallanma hündürlüyü $h_A = h_C$ = 8m, h_B = 11m .

Xəttin verilmiş parametrlərinə əsasən tapırıq:

naqilin radiusu $6{,}75 \cdot 10^{-3}$m,

naqillər arası orta həndəsi məsafə

$$D_{or} = \sqrt[3]{4.06 \cdot 3.5 \cdot 3.09} = 3.53m;$$

üç naqillər sisteminin orta həndəsi radiusu

$$R_{or}^{/} = \sqrt[3]{6.75 \cdot 10^{-2} \cdot 3.53^2} = 0.44;$$

A, B, C fazalarının naqillərinin yer səthinə nisbətən güzgü əkslərinə qədər olan orta məsafə

$$D_1 = 2\frac{8+11+8}{3} = 18m;$$

xəttin 1km uzunluğunun tutum müqaviməti

$$x_{CO} = 396\left(\ell g\frac{18}{0{,}44}\right) \cdot 10^3 = 636 \cdot 10^3\,Om;$$

və müvafiq olaraq ümumi şəbəkənin

$$x_C == \frac{636}{200} \cdot 10^3 = 3180\ Om;$$

Yerlə qapanma cərəyanın axtarılan qiyməti

$$I_y = 3 \cdot \frac{37000}{\sqrt{3}(-j3180)} = j20\ A.$$

Bu halda yerlə qapanma cərəyanını tam kompensasiya etmək üçün transformatorun 37kV – luq dolağının neytralını induktiv müqaviməti x_L olan sarğac vasitəsilə yerlə birləşdirmək lazımdır, yəni

$$x_L == \frac{3180}{3} = 1060\ Om.$$

7.3. GƏRGİNLİYİ 1000 VOLTA QƏDƏR OLAN QURĞULARDA QQ CƏRƏYANLARININ HESABLANMASI

Gərginliyi 1000 V –a qədər olan qurğularda QQ cərəyanlarının hesablanması daha yüksək gərginlikli şəbəkələr üçün aparılan analoji hesabatlardan bir neçə xüsusiyyətləri ilə fərqlənir:

1. QQ cərəyanının qiymətinə qısaqapanma dövrəsinin aşağıda verilən elementlərinin aktiv və induktiv müqavimətləri təsir edir:
   – uzunluğu 10 m və ondan yuxarı olan naqillərin, kabellərin və şinlərin;
   – avtomat açarların dövrə ayırıcılarının cərəyan sarğacları;
   – çoxsarğılı cərəyan transformatorlarının birinci dolaqları.

Qeyd olunan bu elementlərin müqavimətlərinin qiyməti məlumat
kitablarında [19, cədvəl 2.49 – 2.54] verilib.

2. Aparatların kontaktlarının keçid müqavimətləri (avtomat açarların, ayırıcıların, kəsicilərin və s.) QQ cərəyanlarına xeyli təsir edir. Kontaktlar haqqında doğru məlumatlar olmadıqda şəbəkələrdə QQ cərəyanlarının hesabatı zamanı (gücü 1600 kVA –yə qədər, 1600 kVA da daxil olmaqla,

olan transformatordan qidalanan şəbəkədə) sxemə aktiv müqavimətin daxil edilməsi ilə ümumi müqavimətin nəzərə alınması tövsiyə olunur [22]. Bu müqavimətin qiyməti 0,015 – 0,030 Om həddində dəyişir və qidalandırıcı mənbəyin şinindən QQ yerinin uzaqlığından asılıdır. Keçid müqavimətinin aşağıdakı qiymətləri tövsiyə olunur:

– yarımstansiyanın paylayıcı qurğusu üçün – 0,015 Om;
– birinci sex paylayıcı məntəqəsi üçün, həmçinin yarımstansiyanın şitindən və baş maqistraldan radial xətlərlə qidalanan aparatların sıxaclarında QQ üçün – 0,02 Om;
– ikinci sex paylayıcı məntəqəsi üçün – 0,025 Om;
– ikinci paylayıcı məntəqədən qidalanan, bilavasitə elektrik qəbuledicilərinin də qoşulduğu elektrik aparatları üçün – 0,03 Om.

3. Kabellərin və şin naqillərinin tərpənməz kontak birləşmələrinin aktiv keçid müqavimətləri QQ cərəyanına müəyyən təsir göstərir. Daha çox qarşılanan birləşmə yerləri: şin naqili – şin naqili, şin naqili – avtomat açar, kabel – avtomat açar birləşmələrində [19, cədvəl 2.56]. Kabel – şin naqilinin keçid müqaviməti kabel – kabel və şin naqili - şin naqilinin orta hesabı keçid müqaviməti kimi təyin edilir. Tərpənməz kontaktların aktiv keçid müqavimətlərinin qiyməti [19, cədvəl 2.56] – da verilib. Müqavimətlərin çox hissəsinin qiymətinin kiçik olmasına baxmayaraq, hesabat sxemində tərpənməz kontaktların sayı çox olan hallarda onların cəmlənmiş qiyməti hiss olunan qədər olur.
4. Elektrik mühərriki qoşulduğu şəbəkə qovşağında və ya ondan elektriki uzaq olmayan nöqtədə QQ olduqda tərtib olunan əvəz sxemində aktiv və reaktiv müqavimət və E_{Om} = 0,9 U_{nom} EHQ ilə nəzərə alınır. Mühərrikin müqavimətinin kataloq məlumatları olmadıqda onlar aşağıdakı formullarla təyin olunur:

$$r_m = \frac{0.63 P_{nom} 10^6}{\left(K_i I_{nom}\right)^2}, \qquad (7.2)$$

$$x_m = \sqrt{\left(\frac{U_{nom}10^3}{\sqrt{3}K_i I_{nom}}\right)^2 - r_m^2}, \qquad (7.3)$$

burada P_{nom} – nominal gücü, kVt;

I_{nom} – nominal cərəyanı;

U_{nom} – elektrik mühərrikinin nominal gərginliyini, kV;

K_i – işəsalma cərəyanının dəfəliyini göstərir.

5. Praktiki olaraq istənilən QQ zamanı zədələnmə yerində elektrik qövsü yaranır. Bu gövs QQ cərəyanını azaldır. Qövs hesabatda $r_q = U_q / I_{K0}$ formulu ilə təyin olunan aktiv müqavimətlə göstərilir.

Burada $U_q = E_q / \ell_q$ – qövsün gövdəsindəki intensivlikdir;

V/mkm; l_q – qövsün uzunluğudur, mm;

I_{K0} – qövs nəzərə alınmadan zədələnmə yerində cərəyanın

hesablanmış qiymətidir, A.

I_{K0} > 1000 A olduqda E_q = 1,6 V/mm. Qövsün uzunluğu QQ yerində

faza naqilləri arasındakı *a* məsafəsindən asılı olaraq təyin olnur.

a<5mm olduqda o 4*a*-ya, 5mm<*a*<50 mm olduqda

$20{,}41\,\ell n\, a/2e^{-0.15(r_\Sigma/x_\Sigma)}$ -ə və *a*>50 mm olduqda isə *a*-ya bərabərdir.

l_q –nin r_Σ / x_Σ –dən və fazalararası məsafədən asılılığı şəkil 7.4-də

göstərilib. Fazalararası məsafələr [19, cədvəl 2.57]-də verilib.

6. Hesablama sxeminin qidalandığı gərginliyi 1 kV–dan yüksək olan

enerjisistemin və şəbəkənin müqviməti yüksək gərginlikli şəbə–

kədə olduğu kimi (2.31) ifadəsi ilə təyin olunur.

Əgər,

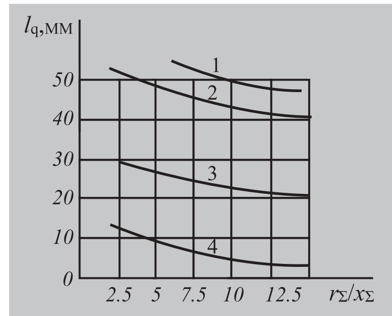
$$S^{(3)}_{QQ\ yük} / S_{Tnom} > \frac{1000}{U_K\%},$$

olduqda $x_C = 0$ olur.

Burada $S^{(3)}_{QQ\ yük}$ –alçaq gərginliyi1 kV-yə qədər olan transformatorun yüksək gərginlik tərəfindəki QQ-nin gücüdür;

S_{Tnom},U_K% –transformatorun parametrləridir.

7.Çox hallarda gərginliyi 1000 V-a gədər olan qurğuların gidalandırılması radial sxem üzrə alçaq gərginlik tərəfdə dolağının neytralı yerlə birləşdiriliş transformatordan yerinə yetirilir. Ona görə də 1 kV-yə gədər dövrələrdə başqa növ qapanmaların cərəyanına nisbətən ən kiçik olan birfazalı QQ cərəyanı hər zaman üçfazalı QQ cərəyanından kiçikdir. *Üçfazalı QQ cərəyanının periodik mürəkkəbələrinin başlanğıc təsiredici qiyməti aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur*



Şək. 7.4. Fazalararası məsafə 50, 30, 9, 3 mm halları üçün qövsün uzunluğunun r_Σ/x_Σ nisbətindən hesabi asılılıqları (müvafiq olaraq 1 – 4 əyriləri)

$$I^{(3)}_{p0} = \frac{U_{or.nom}10^3}{\sqrt{3}\sqrt{r^2_{1\Sigma} + x^2_{1\Sigma}}}, \text{ kA}.$$

Burada $U_{or.nom}$ –QQ yaranmış yerdə şəbəkə pilləsinin orta nominal gərginliyidir, kV;

$x_{1\Sigma}$, $r_{1\Sigma}$ – cərəyanın periodik mürəkkəbəsi I_{p0} –ın axdığı şəbəkənin bütün elementlərinin düz ardıcıllığının reaktiv və aktiv müqavimətlərinin cəmidir, mOm–la.

x_C = 0 olduqda U_{or}-nın nominal gərginlik U_{nom} ilə əvəz olunmasına yol verilir.

Qidalanma mənbəyindən *zərbə cərəyanı* (4.6) ifadəsi ilə təyin olunur. Komplekt transformatorlar yarımstansiyasının paylayıcı qurğusunun alçaq tərəfində QQ zamanı zərbə əmsalının qiymətinin K_Z = 1,3 kimi qəbul olunmasına yol verilir və yerdə qalan bütün hallarda K_Z = 1 qəbul olunur.

Yerli asinxron mühərriklərdən QQ cərəyanının periodik mürəkkəbərinin başlanğıc təsiredici qiyməti aşağıdakı formul ilə hesablanır:

$$I_{p\max}^{(3)} = \frac{E_{nom}^{n} 10^3}{\sqrt{\left(x_m + x_{yg}\right)^2 + \left(r_m + r_{yg}\right)^2}}, \qquad (7.15)$$

burada E_{nom}^{n} –mühərrikin ifrat keçirici EHQ –sidir,

$E_{nom}^{n} = 0{,}9 U_{nom}$;

x_m, r_m – mühərrikin (7.2) və (7.3) ifadələri ilə hesablanmış müqavimətləri;

x_{yg}, r_{yg} – QQ nöqtəsi ilə mühərrikin qoşulduğu tərəfin müqavimətləridir.

Əgər mühərrikin gücü qidalandırıcı transformatorun gücünün 20% –dən aşağı olarsa, və ya əgər $Z_{yg} > 1{,}5\ Z_T$ (Z_T transformatorun müqavimətidir) olarsa onda QQ nöqtəsinin mühərrik tərəfindən qidalandırması nəzərə alınmır.

Birfazalı QQ cərəyanının periodik mürəkkəbələrinin başlanğıc təsiredici qiyməti qeyri – simmetrik QQ –nin hesabat qaydası üzrə (5.4.4 bəndinə bax) aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$I_{p0}^{(1)} = \frac{3U_{or.nom}}{\sqrt{3}\sqrt{\left(r_{1\Sigma} + r_{2\Sigma} + r_{0\Sigma}\right)^2 + \left(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}\right)^2}} = \frac{\sqrt{3}U_{or.nom}}{\sqrt{\left(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma}\right)^2 + \left(2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma}\right)^2}}, \qquad (7.16)$$

burada $U_{or.nom}$ – QQ olan şəbəkənin orta nominal gərginliyidir, kV;

$r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$, $r_{0\Sigma}$, $x_{0\Sigma}$ – QQ nöqtəsinə nisbətən düz və sıfır ardıcıllıqlı müqavimətlərin cəmidir.

Transformatorun sıfır ardıcıllıqlı müqaviməti məlumat kitabında [19, cədvəl 2.50-də] verilib. Onlar çox amillərdən asılıdır:

a) yerləbirləşdirici naqilin yerləşmə yerindən və yerinə yetirilməsindən;

b) keçirici metal konstruksiyaların yaxınlığından və s.

Praktiki hesabatlarda şinin sıfır ardıcıllıqlı müqavimətinin aşağıdakı kimi qəbul edilməsinə yol verilir: $r_{Ş0} \cong 10r_{Ş1}, x_{Ş0} \cong 10x_{Ş1}$. Üçdamarlı kabel üçün: $r_{K0} \cong 10r_{K1}, x_{K0} \cong 10x_{K1}$

M ə s ə l ə 7.2.

Şəkildə göstərilən sxem üçün növbə ilə K1 və K2 nöqtələrində qısaqapanma zamanı cərəyanın ən böyük və ən kiçik qiymətlərini təyin edin.

Transformator T: 1000kVA, 10 / 0.4kV, Y / Y_0 – 12.

Şinlər Ş: 3,5m, A – 2 (80 x 8), fazalararası məsafə 200mm.

Magistral şin naqili MŞ: 50m, I_y = 1600A.

Paylaşdırıcı şin naqili PŞ: 4m, I_y = 600A.

Kabellər: L1 = 10m, A (3 x 50 + 1 x 25); L2 = 8m, A (3 x 35 + 1 x 16); L3 = 11m, A (3 x 16 + 1 x 10); bütün kabellər alüminium örtüklüdür.

Avtomatlar A1 1500A; A2 2600A; A3 50A.

H ə l l i . Əlavə 6-da verilmiş məlumat materialından istifadə edərək verilmiş sxemin elementlərinin müqavimətlərini tapırıq:

transformator T üçün

$$r_1 = 1.7\,mOm, \quad x_1 = 8.6\,mOm, \quad r_0 = 0.9\,mOm, \quad x_0 = 80\,mOm;$$

Ş şini üçün

$$r_1 = 3.5 \cdot 0.034 = 0.12\,mOm, \quad x_1 = 3.5 \cdot 0.145 \ell g \frac{1.26 \cdot 200}{0.23(80+24)} = 0.51\,mOm,$$

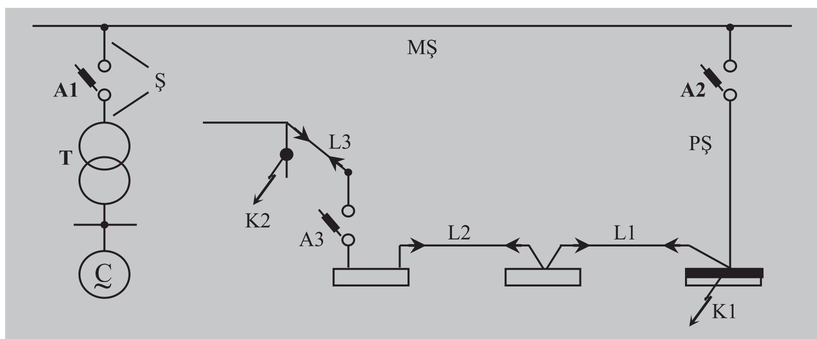
$$r_0 = 10 \cdot 0.12 = 1.2\,mOm, \quad x_0 = 8.5 \cdot 0.51 = 4.4\,mOm;$$

MŞ şin naqili üçün

$\boldsymbol{r_1 = 50 \cdot 0.034 = 1.7\,mOm}$, $\boldsymbol{x_1 = 50 \cdot 0.023 = 1.15\,mOm}$, sıfır ardıcıllıqlı üçün şərti olaraq qəbul edək $r_0 \approx 10r_1 = 10 \cdot 1.7 = 17\,mOm, \quad x_0 = 10x_1 = 10 \cdot 1.15 = 11.5\,mOm;$

PŞ şin naqili üçün

$r_1 = 4 \cdot 0.1 = 0.4\,mOm, \quad x_1 = 4 \cdot 0.1 = 0.4\,mOm,$ sıfır ardıcıllıqlı üçün bundan əvvəlkinə müvafiq olaraq hesablayırıq $r_0 = 4\,mOm = x_0$;



kabellər üçün

$$L1 \quad r_1 = 10 \cdot 0.77 = 7{,}7\,mOm, \quad x_1 = 10 \cdot 0.068 = 0.68\,mOm,$$
$$r_0 = 10 \cdot 1.4 = 14\,mOm, \quad x_0 = 10 \cdot 0.19 = 1.9\,mOm;$$
$$L2 \quad r_1 = 8 \cdot 1.1 = 8.8\,mOm, \quad x_1 = 8 \cdot 0.065 = 0.52\,mOm,$$
$$r_0 = 8 \cdot 1.8 = 14.4\,mOm, \quad x_0 = 8 \cdot 0.23 = 1.84\,mOm;$$
$$L3 \quad r_1 = 11 \cdot 2.4 = 26.4\,mOm, \quad x_1 = 11 \cdot 0.034 = 0.92\,mOm,$$
$$r_0 = 11 \cdot 3.5 = 38.5\,mOm, \quad x_0 = 11 \cdot 0.33 = 3.63\,mOm;$$

avtomatlar üçün

$$A1 \quad r = x = 0, \quad A2 \quad r = 0.12\,mOm, \quad x = 0.09\,mOm,$$
$$A3 \quad r = 5.5\,mOm, \quad x = 2.7\,mOm$$

K1 nöqtəsində qısaqapanmada kontakt birləşmələrinin müqavimətini $r \approx$ *20mOm* qəbul edək. Buna görə də, bu nöqtəyə nəzarən sxemin yekun müqaviməti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$r_{1\Sigma} = 1.7 + 0.12 + 1.7 + 0.4 + 0.12 + 20 = 24\,mOm,$$
$$x_{1\Sigma} = 8.6 + 0.51 + 1.15 + 0.4 + 0.09 = 10.75\,mOm;$$
$$r_{0\Sigma} = 0.9 + 1.2 + 17 + 4 + 0.12 + 20 = 43.22\,mOm,$$
$$x_{0\Sigma} = 80 + 4.4 + 11.5 + 4 + 0.09 = 100\,mOm.$$

Üçfazalı qısaqapanma halı üçün cərəyan

$$I_K = \frac{400}{\sqrt{3}\sqrt{24^2 + 10.75^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 26.5} = 8.7\,kA.$$

Birfazalı qısaqapanma halı üçün cərəyan

$$I_K = \frac{\sqrt{3}\cdot 400}{\sqrt{(2\cdot 24 + 43.22)^2 + (2\cdot 10.75 + 100)^2}} = \frac{\sqrt{3}\cdot 400}{152} = 4.55kA.$$

Kontakt birləşmələrinin müqavimətləri nəzərə alınmadıqda bu cərəyanların qiymətləri müvafiq olaraq $I_K^{(3)} = 20kA$ və $I_K^{(1)} = 5.5kA$ –ə bərabər olardı.

$x/r = 10.75/24 = 0.45$ olduqda zərbə əmsalı $k_z \approx 1$ olduğundan zərbə cərəyanı $i_z = \sqrt{2}\cdot 8.7 = 12.3kA$ təşkil edir.

K2 nöqtəsində qısaqapanma halı üçün yekun müqavimət (kontakt birləşmələrinin müqavimətini r ≈ 30 mOm qəbul etməklə) aşağıdakı kimi hesablanacaq:

$$r_{1\Sigma} = 24 + 7.7 + 8.8 + 26.4 + (30 - 20) + 5.5 = 82.4\,mOm,$$

$$x_{1\Sigma} = 10.75 + 0.68 + 0.52 + 0.92 + 2.7 = 15.57\,mOm;$$

$$r_{0\Sigma} = 43.22 + 14 + 14.4 + 38.5 + (30 - 20) + 5.5 = 125.5\,mOm,$$

$$x_{0\Sigma} = 100 + 1.9 + 1.84 + 3.63 + 2.7 = 110\,mOm.$$

Qısaqapanma olduqda cərəyanların qiyməti aşağıdakı qymətlərə malik olmalıdırlar:

Üçfazalı QQ olduqda

$$I_K^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3}\sqrt{82.4^2 + 15.57^2}} = \frac{400}{\sqrt{3}\cdot 83.8} = 2.75kA,$$

Birfazalı QQ olduqda

$$I_K^{(1)} = \frac{\sqrt{3}\cdot 400}{\sqrt{(2\cdot 82.4 + 125.5)^2 + (2\cdot 15.576 + 110)^2}} = \frac{\sqrt{3}\cdot 400}{324} = 2.14kA,$$

Kontakt birləşmələrinin müqavimətləri nəzərə alınmadıqda bu cərəyanların qiymətləri müvafiq olaraq $I_K^{(3)} = 40.5kA$ və $I_K^{(1)} = 2.8kA$ -ə bərabər olardı.

YOXLAMA SUALLARI

1. Neytralı izalə olunmuş şəbəkələrdə keçid proseslərinin xüsusiyyətləri nədən ibarətdir?
2. Cərəyanın istilik düşgüsü nə deməkdir?
3. Hansı növ qapanma yerlə sadə qapanma adlanır?
4. Sadə qapanma cərəyanının kompensasiyası nə üçün lazımdır və o necə həyata keçirilir?
5. Artıq kompensasiyanın məqsədi nədən ibarətdir?
6. 1000 V-a qədər şəbəkələrdə QQ cərəyanlarının xüsusiyyətləri hansılardır?
7. 1000 V –a qədər şəbəkələrdə QQ cərəyanlarının maksimal və minimal qiymətləri necə təyin olunur?

VIII F Ə S İ L

QISAQAPANMA CƏRƏYANLARININ MƏHDUDLAŞDIRILMASI

8.1. QISAQAPANMA CƏRƏYANLARININ MAKSİMAL SƏVİYYƏSİ

Qısaqapanma cərəyanlarının maksimal səviyyəsi elektrik sistemi avadanlıqlarının qəza rejimində işləmə şərtini təyin edir. Şinlərin, cərəyankeçiricilərin, naqillərin və kabellərin, elektrik aparatlarının seçilməsi və yoxlanılması qısaqapanmanın parametrlərinə görə yerinə yetirilir. Müxtəlif ölkələrin [3], o cümlədən, Azərbaycan Resbublikası enerjisistemindən yığılan statistik məlumatların analizi elektrik avadanlıqların istismarı üçün mühüm nəticələr əldə etməyə imkan verir:

1. Müxtəlif gərginlikli şəbəkələrdə QQ cərəyanlarının qiyməti daima artır. Bu şəbəkənin inkişafı ilə – yeni elektrik verilişi xətlərinin və neytralı yerlə birləşdirilmiş transformatorların, eləcə də əlavə avadanlıqların istismara qoşulması və nəticədə QQ nöqtəsi ilə mənbə arasında qısaqapanma dövrəsinin ümumi müqavimətinin azalması ilə əlaqədardır. Keçmiş

SSRİ-də müxtəlif illərdə enerjisistemlərin istismarı zamanı qeydiyyata alınmış QQ-nın qiymətləri növbəti səhifədəki cədvəldə verilib.

2. Çox hallarda birfazalı QQ cərəyanının qyməti üçfazalıdan çoxdur (bax cədvəl növbəti səh.). Bu sıfır ardıcıllıqlı ümumi müqavimətin $x_{0\Sigma}$ –nın kiçik olması ilə izah olunur (5.4.6 bəndinə bax). Bu müqavimətin qyməti sxemdə olan yerlə birləşdirilmiş neytralların sayından asılıdır. Sıfır ardıcıllıqlının əvəz sxemində yerlə birləşdirilmiş hər bir neytral paralel budaq yaradır ki, bunun da nəticəsində $x_{0\Sigma}$ azalır. Birfazalı QQ cərəyanlarının səviyyəsinin yüksəlməsinə istismara böyük güclü (300 – 800 MVt) enerji bloklarının verilməsi şərait yaradır, çünki adətən, blok – transformatorların neytralının yerlə birləşdirilməsi tələb olunur. Həmin bu effektin neytralı yerlə birləşdirilmiş şəkildə işləyən güc avtotransformatorlardan geniş istifadəyə imkan yaradır. Birfazalı QQ-nın maksimal cərəyanının üçfazalı QQ-dən yuxarı olması açarların komutasiya qabiliyyətinin birfazalı QQ-nin cərəyanının qiymətinə görə yoxlanılmasının vacibliyini göstərir. Birfazalı QQ üçfazalıya nisbətən daha tez – tez baş verdiyinə görə onlar açarların işləmə qabiliyyətini çətinləşdirir (1.1 bölməsinin cədvəlinə bax)

Müxtəlif gərginlikli şəbəkələrdə QQ cərəyanlarının maksimal təsiredici qiymətləri

Cədvəl 1.

QQ –nin ölçülmə ili	Gərginliklər üzrə, кV QQ cərəyanları, kA,					
	35kV		110kV		220kV	
1972	–	36.5	36.4	36.0	44.6	37.2
1975	–	37.6	40.0	43.0	46.7	44.0
1978	–	39.4	52.0	50.0	52.2	42.0
1983	–	40.9	49.0	50.0	42.4	42.4
1990	–	39.6	50.6	46.0	62.4	55.6

Q e y d. Cədvəldə birinci qrafada birfazalı, ikinci qrafada isə üçfazalı QQ cərəyanlarının qiymətləri verilib

8.2. QISAQAPANMA CƏRƏYANLARININ MƏHDUDLAŞDIRILMA VASİTƏLƏRİ

Qısaqapanma cərəyanlarının səviyyəsinin artması elektrik sisteminin bütün güc elementlərinin istismarının etibarlığının azalmasına səbəb olur. İlk növbədə sərt şinlər, kabellər, elektrik aparatları bundan zərər çəkir. QQ cərəyanlarının səviyyəsinin artması generator və transformatorlara aşağı dərəcədə təsir etməsinə baxmayaraq, onlar üçün də bu artımın mənfi nəticələrini nəzərə almaq lazımdır. Amerikanın Virginiya ştatında bir enerji şirkətinin məlumatına görə enerjisistemin 14 illik istismarı müddətində zədələnmiş transformatorların sayı 6 % -dən 10,6 %-ə qədər artmışdır. Belə ki, 70 % -dən çox hallarda zədələnməsinə transformatorların QQ-nın birbaşa keçid cərəyanlarına görə elektrodinamik dayanıqlığının kifayət qədər olmaması səbəb olmuşdur.

Enerjisistemdə QQ cərəyanlarının məhdudlaşdırılmasına həmişə kifayət qədər böyük diqqət yetirilir. Bunun üçün həm sxem həllərindən, həm də xüsusi qurğulardan istifadə olunur. Daha geniş istifadə olunanlar isə bunlardır:

- şəbəkələrin stukturunun və parametrlərinin optimallaşdırılması;
- şəbəkələrin stasionar yaxud avtomatik bölünməsi;
- cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğulardan istifadə olunması;
- elektrik şəbəkələrində neytralın yerlə birləşdirilmə rejiminin optimallaşdırılması.

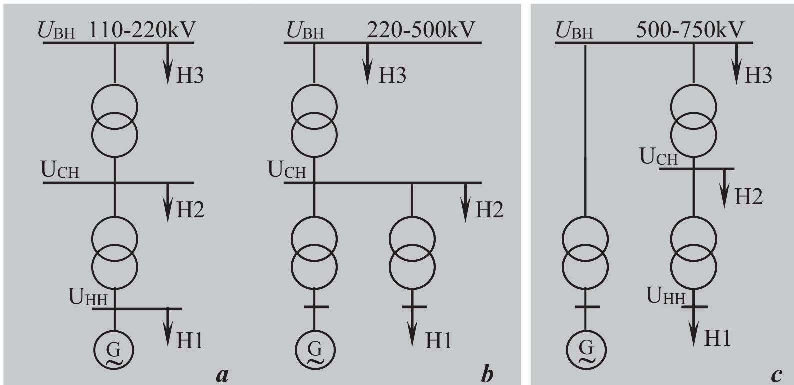
Müxtəlif növ QQ-lər zamanı cərəyanın məhdudlaşdırılmasının tələb olunan dərəcəsi yerli şəraitdən, həmçinin enerjisistemin şəbəkələrinin texniki – iqtisadi göstəricilərindən asılı olaraq müxtəlif məhdudlaşdırıcı vasitələrdən və ya onların ən böyük texniki iqtisadi effekt verəcək kombinasiyalarından istifadə olunmaqla yerinə yetirilir.

8.2.1. Şəbəkələrin strukturunun və parametrlərinin optimallaşdırılması (sxem həlli)

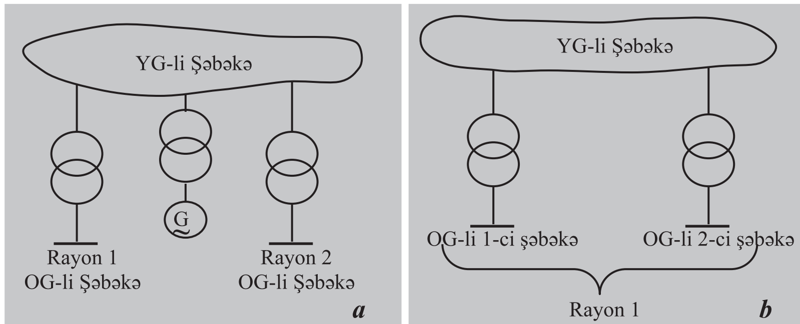
Sxem həlli adətən enerjisistemin inkişaf sxeminin lahiyləndirilməsi mərhələsində tətbiq olunur. Bu zaman elektrik stansiyaların gücünün verilməsinin optimal sxemi və enerjisistemin şəbəkə elementlərinin parametrləri seçilir.

Elektrik stansiyalarının güclərinin verilmə sxemi gücü 500–1200MVt olan generatorların istismara verilməsi zamanı, həmçinin elektrik stansiyalarının vahid gücünün 3600–6400 MVt-yə qədər artırılması zamanı dəyişdirilir, yəni *şək. 8.1*, *a*-da göstərilən sxemdən *b* sxeminə, sonra isə *c* sxeminə keçid yerinə yetirilir.

Şəkil 8.1, *c* -də təvsir olunmuş sxemdə alçaq və orta qərginlikdə QQ cərəyanlarının məhdudlaşdırılması ilə bağlı kifayət qədər çətinliklər yaranır. *Şək. 8.1, b* sxeminə keçid zamanı QQ cərəyanının ən böyük artımı orta gərginlik şəbəkəsində, az artımı – yüksək gərginlik şəbəkəsində müşahidə olunur. Alçaq gərginlik şəbəkəsində isə QQ cərəyanlarının səviyyəsi stabilləşir. *Şək. 8*.1, *c*-də verilmiş sxemdə QQ cərəyanının səviyyəsinin ən böyük artımı yüksək gərginlik şəbəkəsində müşahidə olunur.



Şək. 8.1. Elektrik stansiyalarının güclərinin verilmə sxemləri: a – generatorlarının gücü 30- 100 MVt olan İEM – ləri; b – generatorlarının gücü 100 – 300 MVt olan blok stansiyaları; c – generatorlarının gücü 500 – 1200 MVt olan blok stansiyaları



Şəkil 8.2. Şəbəkələrin strukturunun optimallaşdırılması: şəbəkələrin bölgə (uzununa) (a) və yerli (eninə) (b) üzrə bölünmə sxemləri

Şəbəkənin strukturunun optimallaşdırılması QQ cərəyanlarının məhdudlaşdırılması üçün effektiv vasitələrdən biridir. Bu məqsədlə şəbəkələrin bölgələr (uzununa) üzrə bölünməsi tətbiq olunur. Bu zaman şəbəkənin (rayonun) ərazisinin bir hissəsinin eyni gərginlikli sxemləri bir–biri ilə yalnız yüksək gərginlikli şəbəkə vasitəsilə əlaqələndirilir (*şək. 8.2, a*). Şəbəkələrin yerli və ya eninə bölünməsi eyni bir gərginlikli şəbəkələrin hər hansı bir rayonun ərazisində onların kəsilməsi və yüksək gərginlikli şəbəkə vasitəsilə əlaqələndirməsi həyata keçirilir (*şək. 8.2, b*).

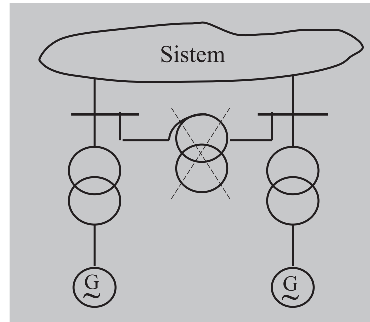
8.2.2. Şəbəkələrin stasionar və ya avtomatik bölünməsi

Şəbəkələrin inkişafı zamanı QQ cərəyanlarının səviyyəsinin məhdudlaşdırılması tələb olunduqda istismar prosesində onun bölünməsi həyata keçirilir. Şəbəkələrin bölünməsi iki yerə, stasionar (ŞSB) və avtomatik bölünmələrə (ŞAB) ayrılır.

ŞSB normal rejimdə seksiyalararası, şinlərarası və ya xətt açarları vasitəsilə həyata keçirilir. Bu, şəbəkənin qövşağında QQ cərəyanının səviyyəsi şəbəkədə quraşdırılmış avadanlığın parametrləri üçün yolverilən həddən çox olduqda yerinə yetirilir. Şəbəkənin bölünməsinə misal kimi, iki yüksəldici paylayıcı qurğusu olan stansiya *şək. 8.3*-də göstərilib. Bölünmə iki yüksək gərginlikli paylayıcı qurğu arasında olan transformator əlaqəsinin qırılması ilə yerinə yetirilir. ŞSB elektrik sisteminin rejiminə

dayanıqlığına və etibarlı işləməsinə, həmçinin şəbəkədə güc itkisinin azalmasına əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir.

ŞAB qəza rejimində kommutasiya aparatlarının normal işinin təmin olunması üçün yerinə yetirilir. O, seksiya və ya şinlərarası açarlarla, bəzən isə böyük güclü birləşmələrin açarları ilə həyata keçirilir. ŞAB zamanı QQ cərəyanlarının kaskad şəkilli açma sistemi yaranır, lakin nəzərə almaq lazımdır ki, ŞAB-ın növbəti çatışmayan cəhətləri mövcuddur:



Şək. 8.3 Şəbəkənin stasionar bölünməsi

1) qəzadan sonrakı rejimlərdə şəbə-kələrin bölünmüş hissələrində, mənbələrin və yüklərin güclərində kifayət qədər qeyri–balansın yaranmasının mümkünlüyü;
2) normal rejimin bərpa olunma müddətinin artması.
Bunlara baxmayaraq, ŞAB-dan istifadə ucuz, sadə və etibarlı olduğuna görə onlardan enerjisistemdə geniş istifadə olunur.

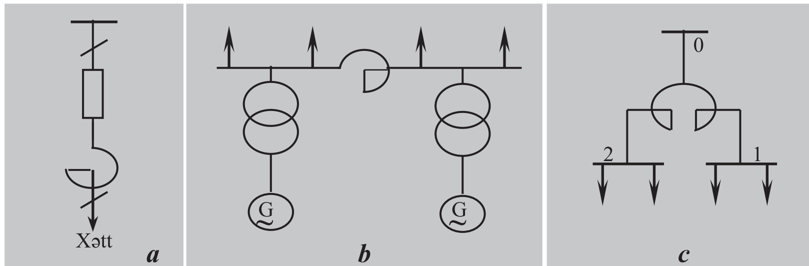
8.2.3. Cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğular

Cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğular özlərinin əsas funksiyalarını – QQ cərəyanının məhdudlaşdırılmasını yerinə yetirərkən şəbəkənin normal iş rejiminə ciddi təsir etməməlidir, rejim və sxem parametrləri dəyişdirilən zaman stabil xarakteristikaya malik olmalıdırlar.

Cərəyanməhdudlaşdırıcı reaktorlar müxtəlif konstruktiv icraya və parametrlərə malik ola bilər.

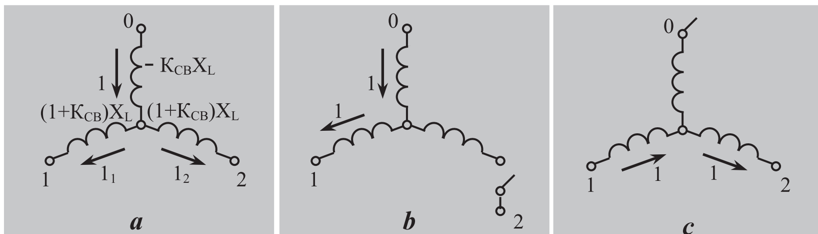
Müvafiq xəttə ardıcıl qoşulan *xətti xarakteristikalı reaktorlar* qoşulduqları qovşaqda QQ cərəyanlarını məhdudlaşdırır və qalıq gərginliyinin nisbətən yüksək səviyyəsini saxlayır. Lakin normal rejimdə onlarda aktiv və reaktiv güc itir, həmçinin gərginlik itkisi və düşgüsü baş verir. Reaktorun müqaviməti (2.30) formulu ilə təyin

olunur. Xətt və seksiya reaktorlarının qoşulmasının mümkün olan sxemləri *şəkil 8.4*-də verilib.



Şək. 8.4. Reaktorların xətti (a), seksiyalı (b) və ikiləşmiş (c) qoşulma sxemləri

Gərginlik və reaktiv güc itkiləri baxımından ikiləşmiş reaktorlar daha əlverişlidir. Normal rejimdə reaktorun budaqları arasında maqnit əlaqəsi cərəyanməhdudlaşdırma qabiliyyətini azaltmadan ondakı gərginlik itkisini azaldır. İkiləşmiş reaktorların əvəz sxemi *şəkil 8.5*-də göstərilib.



Şəkil 8.5. İkidövrəli (a), birdövrəli (b) və uzununa (c) iş rejimləri üçün ikiləşmiş reaktorun əvəz sxemləri

İkiləşmiş reaktorların ikidövrəli (keçid), birdövrəli və uzununa rejimləri mövcuddur; uzununa və birdövrəli rejimlərin birləşdirilməsi mümkündür. Bu rejimlərdə yekun müqavimətlər aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$x_{1-döv} = x_L,$$

$$x_{2-döv} = x_{keç} = \frac{1}{2}(1 - K_{el})x_L \qquad I_1 = I_2 \text{ olduqda,}$$
$$x_{uzun} = 2(1 + K_{el})x_L,$$

burada K_{el} – budaqlar arasında qarşılıqlı induksiyanı nəzərə alan rabitə əmsalıdır (kataloq məlumatları ilə verilir).

İkiləşmiş (iki hissəyə şaxələnmiş) reaktorların K_{el} -nin qiyməti *1* budağında QQ zamanı açılmış budaqda gərginliyin buraxıla bilən səviyyəsi ilə məhdudlaşdırılır (*şək. 8.5,b* -də 2 budağı) və 0,4 – 0,6 həddindədir.

Qeyri – xətli xarakteristikalı reaktorlar. Bu qrupa idarəolunan və doydurulan reaktorlar aiddir.

İ d a r ə o l u n a n   r e a k t o r – uzun elektrik verilişi xətlərində reaktiv gücün kompensasiyası məqsədilə istifadə olunur. Hazırda müasir sxemotexnika və güc elektronikası əsasında bir sıra effektiv qurğular (FACTS – Flexible AC Transmision System) işlənmişdir. Normal rejimdə reaktorun müqaviməti əlavə maqnitləndirmənin hesabına azalır. Reaktorun müqavimətinin normal rejimdə olan müqavimətə nisbətən azalma dərəcəsi (dəyişən cərəyan dolağında nominal cərəyan və sabit cərəyan dolağında müvafiq əlavə maqnitləndirmə cərəyanı zamanı) tənzimləmə əmsalı olan $K_{tən}$ ilə xarakterizə olunur. QQ zamanı reaktorun müqaviməti artır və onun artım dərəcəsi cərəyanməhdudlaşdırma əmsalı K_C ilə xarakterizə olunur. İstismarda olan tənzimlənən reaktorlarda $K_{ten} \cong 8 - 10$ və $K_C \cong 4 - 7$ həddindədir.

D o y d u r u l a n   r e a k t o r – bu qeyri – xətti xarakteristikalı (poladla), idarəolunmayan, dəyişən cərəyan dolağının maqnit naqilinin doyması ilə təyin olunan reaktordur. Reaktorun ekvivalent müqaviməti cərəyanın artması ilə çoxalır; reaktorun bu xüsusiyyəti QQ cərəyanının məhdudlaşdırılması üçün istifadə olunur.

Cərəyanməhdudlaşdırıcı kommutasiya aparatı QQ-nın zərbə cərəyanını azaldır yəni ətalətsiz təsir gücünə malik aparatdır. Bunlara cərəyanməhdudlaşdırıcı qoruyucular və partlayış təsirli zərbə cərəyanının məhdudlaşdırıcısı aiddir.

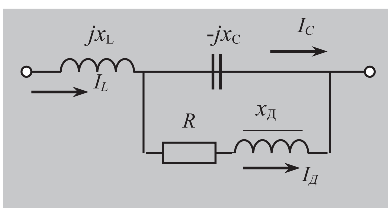
C ə r ə y a n m ə h d u d l a ş d ı r ı c ı q o r u y u c u l a r 3…35 kV gərginlikli şəbəkələr üçün nəzərdə tutulur. Onlar konstruksiyalarının sadəliyi və qiymətinin kiçik olması ilə fərqlənirlər. Lakin bir sıra çatışmayan cəhətlərə malikdirlər. Bu çatışmazlıqlar aşağıdakılardır:

– birdəfəli təsir (işləmə), bu avtomatik təkrar qoşmadan (ATQ-dən) istifadəni çətinləşdirir;
– cərəyan – zaman xarakteristikasının sabit olmaması;
– xarici qurğu tərəfdən idarəolunmamaq (rele mühafizəsi və s.), ona görə də qoruyucuları az məsuliyyətli istehlakçıların dövrələrində quraşdırırlar.

P a r t l a y ı ş t ə s i r l i z ə r b ə c ə r ə y a n ı n ı n m ə h d u d l a ş d ı r ı l m a s ı – birdəfəli ifrat yüksək təsirli gücə maik idarəolunan kommutasiya aparatıdır. Konstruktiv cəhətdən – bu qermetik silindirdir, içərisində cərəyan daşıyıcı keçirici yerləşir ki, ona pirapatron quraşdırılır.

Pirapatronun partlamasına siqnal xarici idarəedici qurğudan verilir. Bu QQ haqqında informasiya, QQ cərəyanın qiymətini və onun törəməsini fokuslaşdıran ölçmə orqanından alınır. Cərəyanın məhdudlaşdırılmasına təqribən 0,5 msan müddətində nail olunur, dövrənin tam açılma müddəti təqribən 5 msan, yəni sənaye tezliyi periodunun 1/4-ni təşkil edir.

Rezonans prinsipli cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğular. Bu qurğuların iş prinsipi normal rejimdə işləməsi zamanı gərginliklər rezonansı effektindən istifadəyə və qəza rejimində rezonansın pozulmasına əsaslanıb. Hal–hazırda bu qurğuların 100-dən artıq variantı və onların modifikasiyası təklif olunur.



Şəkil 8.6. Rezonans prinsipli cərəyan–məhdudlaşdırıcı qurğunun sxemi

Rezonans prinsipli cərəyan-məhdudlaşdırıcı reaktorların iş prinsipinə *şəkil 8.6*-da göstərilən bir qeyri – xətti elementi olan sxemin misalında baxaq. Konturun giriş müqaviməti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$Z_{C.q} = jx_L + \frac{-jx_C(R + jx_d)}{-jx_C + R + jx_d} = \frac{(x_C x_L + x_C x_d - x_L x_d) + jR(x_L - x_C)}{R + j(x_d - x_C)} =$$
$$= R_{ekv} + j(x_d - x_{ekv}),$$

burada R_{ekv}, x_{ekv} – baxılan konturun ekvivalent giriş müqavimətləridir və aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$x_{ekv} = \frac{x_C(x_d^2 - x_C x_d - R^2)}{R^2 + (x_d - x_C)^2}.$$

Ayrı – ayrı elementlərin parametrləri QQ cərəyanının arzu olunan dəfəlik həddinin nominal cərəyana nisbətindən asılı olaraq seçilir.

Bundan əlavə digər cərəyan məhdudlaşdırıcı qurğular da məlumdur:

- transformator və reaktor – ventil tipli cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğular;
- sabit cərəyan tıxacları;
- ifratkeçiricili cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğular.

Bu qurğuların iş prinsipi [3] –də verilib.

8.2.4. Aşağı gərginlik dolağı bölünmüş transformatorlar

Aşağı (alçaq) gərginlikli şəbəkələrdə QQ cərəyanını azaltmaq üçün alçaq gərginlik dolağının en kəsiyi bölünmüş transformator və avtotransformatorlardan istifadə olunur. Belə transformatorlar sənaye müəssisələrinin yarımstansiyalarında, böyük güclü elektrik stansiyalarının xüsusi sərfiyyat sistemində alçaldıcı kimi istifadə olunur. Alçaq gərginlik dolağının en kəsiyi bölünmüş yüksəldici transformatorlar elektrik stansiyalarının vahid gücü böyük olan enerji bloklarında da istifadə olunur. Alçaq gərginlik dolağının en kəsiyi iki yerə bölünmüş transformatorun xarakterik parametrləri aşağıdakılardır (*şəkil 5.9*, *e* –yə bax):

– bölünmüş dolağın çıxışları arasındakı müqavimətə bərabər olan en kəsiyin bölünmə müqaviməti $x_{e.böl}$ aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$x_{e.böl} = x_{a\ell 1 - a\ell 2};$$

– yüksək gərginlik dolağının çıxışı ilə alçaq gərginlik (AG) dolağının bölünmüş ümumi çıxışı arasındakı müqavimətə bərabər olan keçid müqaviməti – $x_{keç}$:

$$x_{keç} = x_{y - a\ell};$$

– en kəsiyinin bölünmə müqavimətinin keçid müqavimətinə nisbəti en kəsiyin bölünmə əmsalı – $K_{e.böl}$ adlanır və aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$K_{e.böl} = x_{e.böl} / x_{keç};$$

– en kəsiyi *m* hissəyə bölünmüş dolağın hər bir tərəfinin nominal gücü aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$S_{nom.m} = S_{nom} / m,$$

burada S_{nom} – transformatorun nominal gücüdür.

Transformatorun nominal gücünə gətirilmiş əvəz sxeminin (şəkil 5.9, *e* –yə bax) parametrləri aşağıdakı kimi təyin olunur

$$x_{a\ell 1} = x_{a\ell 2} = x_{e.böl} / 2 = x_{keç} K_{e.böl} / 2 = x_{y - a\ell} K_{e.böl} / 2,$$
$$x_y = x_{y - a\ell} - x_{a\ell 1} // x_{a\ell 2} = x_{keç} - x_{e.böl} / 4 = x_{y - a\ell}(1 - K_{e.böl} / 4).$$

x_y – YG dolağının, x_{al} – AG dolağının reaktiv müqavimətləridir.

8.3. ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ NEYTRALIN YERLƏ BİRLƏŞDİRİLMƏSİNİN OPTİMALLAŞDIRILMASI

Qısaqapanma cərəyanlarının səviyyəsinə xeyli təsir edən amillərdən biri QQ nöqtəsinə nisbətən şəbəkənin sıfır ardıcıllıqlı ekvivalent müqaviməti $x_{0\Sigma}$ –dir. Bu müqavimətin artması yerlə qeyri – simmetrik QQ cərəyanlarının azalmasına səbəb olur. Praktikada şəbəkənin bəzi budaqlanmalarının müqavimətinin süni şəkildə artırılmasından istifadə olunur. Bu üsul $x_{0\Sigma}$ –ə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Transformatorların və avtotransformatorların neytralının yerləbirləşdirilmə dövrəsi belə budaqlanmalardandır. Transformatorların neytralının yerləbirləşdirilmə üsulunun dəyişdirilməsi müvafiq şəbəkənin yerləbirləşdirilmə rejiminin dəyişməsinə səbəb olur ki, bu da kommutasiya və atmosfer ifrat gərginliyi zamanı transformatorların izolyasiyasının işləmə şəraitini dəyişdirir. Bu səbəbdən neytralın yerləbirləşmə rejiminin dəyişdirilməsinin mümkünlüyü bir neçə şərtlərlə məhdudlaşır:

1. 330 kV və ondan yüksək gərginlikli güc transformatorları neytralı yerdən izolə olunmuş şəkildə işləyə bilməzlər. 110, 150 və 220 kV –luq güc transfomatorlarının neytralının izolyasiyasının bir dəqiqəlik sınaq gərginliyi müvafiq olaraq 100, 130 və 220kV təşkil edir. Bu qiymətlər yerlə QQ rejimində müvafiq transformatorların neytralında hesabat hədd gərginliyi kimi qəbul oluna bilər;
2. Gərginliyi 110 kV və ondan yüksək olan şəbəkələr yerlə effektiv birləşdirilməlidirlər, yəni elə birləşdirilməlidirlər ki, istənilən nöqtədə yerlə QQ zamanı zədələnməmiş fazalarda gərginlik, şəbəkənin xətt gərginliyinin ($1.4U_{f.nom}$) 80% -dən çox olmasın. Bu şərt şəbəkədə 80% -li boşaldıcıların quraşdırılması ilə əlaqədardır;
3. Şəbəkənin istənilən nöqtəsində yerlə birfazalı və ikifazalı QQ cərəyanının həmin nöqtədəki üçfazalı QQ cərəyanından çox olmaması açarlar üçün arzuolunan şərait hesab olunur. Bu tələb, əgər, $x_{0\Sigma} / x_{1\Sigma} \geq 1$ olarsa ödənilir. Bu səbəbdən transformatorların neytralının rejimi ilə müəyyən olunan gərginliyi 110 kV və ondan yüksək olan şəbəkələrin

neytralının rejimini seçən zaman aşağıda verilən şərtlər yerinə yetirilməlidir:

1) $I_{\text{k}}^{(1)} / I_{k}^{(3)} \leq 1, \quad I_{\text{k}}^{(1.1)} / I_{k}^{(3)} \leq 1;$
2) $K_{y} = U_{f.y} / U_{nom} \leq 0.8$, burada K_y –şəbəkənin yerləbirləşmə əmsalıdır;
3) $U_{n.T} < U_{\text{n.Tyolver}}$, burada $U_{\text{n.Tyolver}}$ – transformatorun neytralında yol verilən gərginlikdir;
4) $U_{\text{n.T imp}} < U_{\text{n.T imp.yolver}}$ – burada $U_{\text{n.T imp.yolver}}$ – şəbəkədə QQ zamanı transformatorun neytralında yol verilən impuls gərginliyidir.

Qısaqapanma cərəyanının məhdudlaşdırılması üçün yuxarıda göstərilən şərtlərdən ən sadəsi şəbəkə transformatorların bir neçəsinin neytralının yerdən izolə olunmasıdır. QQ cərəyanlarının məhdudlaşdırılmasına güc transformatorlarının neytralına reaktorlar və rezistorlar qoşmaqla da nail olmaq olar.

Reaktorlar eyni müqavimətə malik rezistorlara nisbətən QQ cərəyanını daha effektiv məhdudlaşdırır. Cərəyanın eyni məhdudlaşdırma səviyyəsində transformatorun neytralında gərginlik reaktordan fərqli olaraq, rezistordan istifadə olunan hallarda daha kiçik olur. Lakin rezistordan istifadə QQ cərəyanının aperiodik mürəkkəbəsinin daha tez sönməsinə nail olmağa imkan yaradır.

8.4. ELEKTRİK AVADANLIQLARININ PARAMETRLƏRİNİN VƏ QQ CƏRƏYANLARININ KOORDİNASİYASI

Koordinasiya – enerjisistemin elektrik avadanlıqlarının parametrlərinin və QQ cərəyanlarının səviyyəsinin bir – biri ilə uyğunlaşdırılmasdır. Koordinasiyanın həyata keçirilməsi növbəti hallarada zərurilidir:

– enerjisistemin perspektiv inkişafının planlaşdırılması;
– elektrik qurğularının (yarımstansiyaların, elektrik verilişi xətlərinin və s.) layihələndirilməsi;

– enerjisistemin istismar olunması;
– hazırlanacaq elektrik avadanlıqları üzərində işləyərkən lazım olan texniki tələblərin təyin olunması mərhələsində.

Perspektiv planlaşdırma zamanı koordinasiyanın məqsədi enerjisistemin və elektrik avadanlığının parametrlərinin dəyişmə dinamikasını nəzərə alaraq şəbəkənin optimal strukturunun və parametrlərinin seçilməsidir. Bu zaman QQ cərəyanlarının səviyyəsinin koordinasiyası üçün aşağıdakılardan istifadə olunur:

- sxem həlləri;
- reaktorlar, dolağının en kəsiyi bölünmüş transformatorlar, cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğular;
- yeni tipli ifratcəldtəsirli kommutasiya aparatları;
- paylaycı qurğularda avtotransformatorlu əlaqədən imtina etmək;
- elektrik şəbəkələrinin neytralının rejiminin optimallaşdırılması.

Elektrik qurğularının layihələndirilməsi zamanı koordinasiyanın məqsədi onun optimal sxeminin və enerjisistemin qovşaq yarımstansiyaları ilə əlaqəsinin seçilməsindən ibarətdir. Bu zaman elektrik avadanlığının mümkün olan parametrləri, rejimə görə məhdudiyyətlər, elektrik qurğularının dayanıqlığına və etibarlığına olan tələblər nəzərə alınmalıdır. QQ cərəyanlarının səviyyəsinin koordinasiyası üçün burada elektrik qurğusunun konkret parametrləri nəzərə alınmaqla yuxarıda göstərilən üsullardan istifadə olunur.

Enerjisistmin istismarı zamanı elektrik avadanlıqlarının parametrləri və QQ cərəyanlarının səviyyəsinin koordinasiyası sxemi, iş rejiminin, əsas elementlərin və elektik avadanlıqlarının parametrlərini operativ dəyişdirilməsi ilə həyata keçirilir. İstismar zamanı QQ cərəyanlarının səviyyəsinin koordinasiyası üçün aşağıdakılardan isifadə olunur:

– daha yüksək parametrlərin alınması məqsədilə avadanlıqların modernləşdirilməsi;
– şəbəkənin seksiya, şinlərarası və ya xətt açarları ilə stasionar bölünməsi;
– şəbəkənin avtomatik bölünməsi;
– bəzi transformatorların neytrallarının izolə olunması;
– bəzi transformatorların neytrallarının reaktor və ya rezistor vasitəsilə yerlə birləşdirilməsi;

– müxtəlif növ cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğuların tətbiqi;
– cərəyanməhdudlaşdırıcı reaktorlardan və ya AG dolağının en kəsiyi bölünmüş transformatorlardan.

Praktikada QQ cərəyanlarının məhdudlaşdırılması üçün yuxarıda göstərilən üsullardan biri və ya eyni zamanda bir neçəsi tətbiq oluna bilər.

Elektrik avadanlığına texniki tələblərin təyin olunması və onun işləmə tapşırığının tərtib olunması enerjisistemin elektrik hissəsinin inkişafı sahəsində texniki siyasət nöqteyi – nəzərindən çox böyük əhəmiyyətə malikdir.

Qısaqapanma cərəyanlarının səviyyəsinin elmi əsaslandırılmış koordinasiyası üçün elektrik avadanlıqlarının və enerjisistemin parametrlərinin zamana görə dəyişmə dinamikası haqqında informasiyanın olması zəruridir.

YOXLAMA SUALLARI

1. Elektrik şəbəkələrində QQ cərəyanlarının səviyyəsinin artmasının səbəblərini sadalayın.
2. QQ cərəyanlarının məhdudlaşdırılması üçün hansı vasitələr və həllərdən istifadə olunur?
3. Elektrik şəbəkələrində neytralların yerləbirləşdirilmə rejiminin optimallaşdırılması nədən ibarətdir?
4. Elektrik avadanlıqlarının parametrlərinin və QQ cərəyanlarının səviyyəsinin koordinasiyası nə deməkdir?
5. Elektrik sisteminin inkişafı prosesində QQ cərəyanlarının səviyyəsinin dəyişmə tendensiyası necədir?

H İ S S Ə 2

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNİN DAYANIQLIĞI

IX F Ə S İ L

DAYANIQLIQ MƏSƏLƏLƏRİNİN QOYULUŞU

9.1. DAYANIQLIQ MƏSƏLƏLƏRİ

Məlumdur ki, müasir dövrdə elektrik enerjisinin istehsal, ötrülməsi, paylanması və istehlakı əsasən dəyişən cərəyan üzərindən həyata keçirilir. Ənənəvi üsulla fəaliyyətdə olan elektrik stansiyalaında quraşdırılmış sinxron generatorlar (Beynəlxalq Eenerji Agentliyinin məlumatına əsasən 2018-ci ilin sonuna ənənəvi enerji mənbələrinin qoyuluş gücündə payı orta hesabla 75 % təşkil edir) aktiv ebnerji ilə yanaşı reaktiv enerji də istehsal (istehlak) etmək imkanına malikdir. Aktiv enerji faydalı işin görülməsinə,

reaktiv enerji isə və müəyyən qrup tələbatçılara, məsələn mühərriklərin dəmirlərinini maqnitləşdirilməsinə sərf olunur. EES-nin normal fəaliyyətinin əsas şərtlərindən biri zamanın istənilən anında texnoloji sərflər (itkilər) nəzərə alınmaqla enerji balansının təmin olunmasıdır. Bu şərtin yerinə yetrilməməsi tezlik və gərginliyin dəyişməsinə gətririb çıxarır. Normal rejimlərdə sinxron maşınlar paralel (sinxron) iş rejimində fəaliyyət göstərir. Güc balansınını həm normal, həm də qəza rejimlərində pozulması sinxron generatorların paralel iş rejiminə pazam və EES-nin dayanıqlığının pozulmasına gəritib çıxarır.

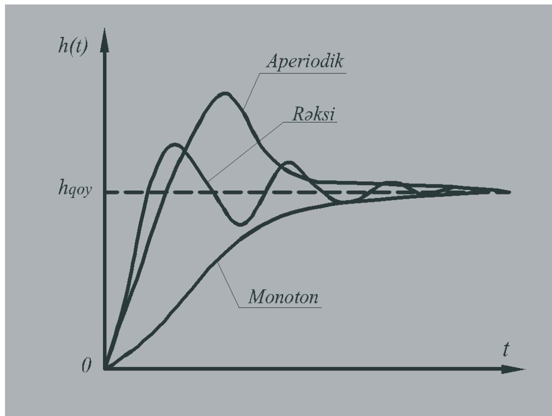
"Elektroenegetik sisteminin dayanıqlığı üzrə metodik göstəriş"də dayanıqlığın növbəti tərifi verilir: *Enejisistemin dayanıqlığı – elektrik stansiyalarının öz aralarında sinxron iş rejiminin saxlanılması qabiliyyətidir, və ya, - müxtəlif həyacanlandırıcı tərirlərdən sonra sistemin qərarlaşmış rejimi bərpaetmə qabiliyyətidir.*Bu tərif istismarla sıx bağlıdır və ədəbiyyatda digrə təriflərə də rast gəlinir.Ənənəvi olaraq statik və dinamik dayanıqlığı anlayışları fərqləndirilir. Birinci halda kiçik həyacanlandırıcı təsirlərdən (nəzərə olaraq sonsuz kiçik), ikincdə isə böyük təsirlərdən sistemin ilkin və ya ona yaxın vəziyyətinə qayıtma qabiliyyəti kimi qəbul olunur. Daha ətraflı tərifləri növbəti paraqraflarda verililir.

Qeyd edək ki, dayanıqlıq vəziyyəti yalnız qeyri-balansın kəmiyyəti ilə deyil, eləcə də sinxron maşınların ilkin bucaq fərləri ilə təyin olunur. Eyni həyəcanlandırıcı təsir müxtəlif ilkin rejimlərdə bir halda dayanəqlığın pozulmasına , digər halda isə saxlanılması ilə nəticələnə bilər. Eynilə, qeyri – balansın davametmə müddəti və yığılmış enerjinin miqdarı da dayanıqlığın pozulmasında (qorunmasında) mühüm rol oynayır. Kiçik qiymətlərdə dayanıqlığın saxlanlması ehtimalı daha yüksək olur.

Əgər dayanıqlıq qorunursa proses yeni qəzadansorakı rejimin yaranması ilə yekunlaşır. Əks halda dayanıqlığın pozulması asinxron rejimin yaranmasına gətirib çıxarır. Bu halda EES-in normal fəaliyyəti mümükün olmur.

Dayanıqlığın pozulması sistyemin bölünməsi ilə nəticələnirsə, güc qeyri-balansı rejim parametrlərinin təhlükəli hədlərdə dəyişməsi

ehtimalını artırır. Rejim parametrləri (i) rəqsi, (ii) monotin və (iii) aperiodik formada dəyişə bilər. Bu baxımdan keçid prosesiləri də eyni formada təsnifləşdirilir *(şəkil 9.1*).



Şək.. 9.1. Keçid prosesləri: 1-aperiodik; 2- rəqsi; 3- monoton.

9.2. ƏSASIDAYANIQLIĞIN ƏSAS ANLAYIŞ VƏ TƏRİFLƏRİIN SİSTEMLƏŞDİRİLMƏSİ

Bir rejimdən digərinə keçid zamanı sistemin elementlərinin elektromaqnit vəziyyəti dəyişir, generatorların və mühərriklərin valında (vərdənəsində) mexaniki və elektromaqnit momentlər arasında balans pozulur. Bu onu göstərir ki, keçid prosesi sistemdə elektromaqnit və mexaniki dəyişikliklərin məcmusunu xarakterizə edən prosesdir, onlar bir-biri ilə qarşılıqlıəlaqəli və qarşılıqlıtəsirlidir, bütöv bir vahidi ifadə edirlər. Buna baxmayaraq, çox hallarda keçid prosesini iki mərhələyə bölürlər (I Fəsildə baxılmışdır).

Elektrik sisteminin rejimlərinin qərarlaşmış və keçid rejimlərinə bölünməsi şərti olaraq qəbul olunmuşdur. Real sistemin qərarlaşmış rejimində onun parametrləri aşağıda göstərilən amillərlə əlaqədar olaraq daima dəyişir:

–yükün dəyişməsi və tənzimləyici qurğuların bu dəyişmələrə reaksiyası ilə;

– sistemin kommutasiya sxeminin normal istismar dəyişmələri ilə;
– ayrılıqda generatorların qoşulması, açılması və ya onların güclərinin dəyişdirilməsi ilə.

Beləliklə, sistemin qərarlaşmış rejiminin parametrlərində hər zaman kiçik həyəcanlandırıcı təsirlər mövcuddur ki, həmin təsirlərdən o dayanıqlı olmalıdır. Bu təsirlər təbii olaraq sərbəst hərəkətlərin yaranmasına səbəb olur və hərəkətlər artan və ya sönən, rəqsi və ya aperiodik oal bilər. Onların xarakteri elektroenergetika sisteminin fəaliyyətinin zəruri şərti hesab olunan statik dayanıqlığı müəyyən edir.

Statik dayanıqlıq – kiçik təsirlərdən sonra sistemin ilkin (və ya ona yaxın) rejimi bərpa etmə qabiliyyətidir.

Statik dayanıqlıq məslələrinin həlli *analiz* və ya *sintez* məsələsi kimi həyata keçirilə bilər. Birinci halda, verilən qərərlaşmış rejimin dayanqılığı yoxlanılır, elektrik sisteminin dayanıqlığının hədd rejimi təyin olunur və keçid prosessinin keyifiyyəti yoxlanılır. *Sintez məsləsinin* həlli zamanı dayanıqlığın təmin olunması məqsədilə,təsirlənmə və tənzimlənmə sisiteminin növü, tənzimlənmə qanunu, təsirlənmə sisiteminin parametrləri təyin olunur.

Elektrik sistemində qəza rejimi, yük altında olan aqreqatlarda, xətlərdə və ya digər elementlərdə QQ səbəbindən qəza açılmaları zamanı yaranır. Böyük həyacanlanmaların təsiri altında rejimdə kəskin dəyişikliklər baş verir. Böyük həyaacnlandırıcı təsirlərə müünasibətdə dinamik dayanıqlıq anlaylşı daxil edilir.

Dinamik dayanıqlıq – böyük təsirlərdən sonra sistemin ilkin (və ya ona yaxın) vəziyyətə qayıtma qabiliyyətidir. Böyük təsirlərdən sonra sistemin sinxron rejimi pozulduğu və yol verilən fasilədən sonra bərpa olunduğu halda sistemin *yekün dayanıqlığı* haqqında danışırlar. Yekün dayanıqlığı bəzən dinamik dayanıqlığın variantı (dəyişmiş forması) hesab edirlər və onu *sinxron və yekun dinamik dayanıqlıqlara* bölürlər.

Bəzi xarici ədəbiyyatlarda (xüsusilə ABŞ) dayanıqlıq məsələlərinidə prossesə bir-necə saniyə intervalında baxıldıqda keçid dayanıalığı (Transient Stability) bir-neçə daqiqə intervalında baxıldıqda dinmaik dayanıqlığı (Dynamic Stability) analayışı daxil edirlər. Sonuncu halda bütün elementlər (istilik, rele mühafizəsi və

avtomatikası, basqı boruları və sistem tənzimləyiciləri özlərinin dinamik xaraktristikaları ilə mödelləşdirilir.

Sistemin statik dayanıqlığının tərifinə əsalanaraq belə demək olar: elə bir rejim vardır ki, həmin rejimdə yükün kiçik artımı onun dayanıqlığının pozulmasına səbəb olur. Belə rejim statik dayanıqlığın *şərtlərinə görə son hədd rejimi*, sistemin yükü isə *maksimal və ya son hədd yükü* adlandırılır.

Yük məhdudiyyəti digər səbəblər nəticəsində də məsələn elektrik sisteminin elementlərinin (generatorların, transformatorların və s.) qızması səbəbindən baş verə bilər. Bu halda qızma şərtinə görə son hədd yükündən danışılır və rejimin mövcud olmasının maksimum müddəti təyin olunur.

Yükün məhdudlaşdırılması qovşaqda gərginliyin səviyyəsi, tac gərginliyi və s. üzrə mümkündür.

Sistemin elementinin *yük buraxma qabiliyyəti* bütün məhdudlaşdırıcı amillər (qızma, dayanıqlıq, qovşaqda gərginlik və s.) nəzərə alınaraq həmin element vasitəsilə ötürülən ən böyük gücə deyilir. Bəzi hallarda buraxma qabiliyyətini bir amil üzrə təyin edirlər. Məsələn, qızmaya görə buraxma qabiliyyəti haqqında deyirlər.

Yük buraxma qabiliyyəti haqqında anlayışlar dinamik dayanıqlıq üçün də doğrudur. Bu halda istənilən nöqtədə QQ, xəttin açılması və s. zamanı dinamik dayanıqlıq şərtlərinə görə *ötürülə biləcək gücün son həddi* başa düşülür.

Dayanıqlığın analizi zamanı yaranan məsələlər olduqca mürəkkəbdir və böyük həcmlidir. Ona görə də baxılan hadisənin fiziki mahiyyətini başa düşmək üçün həll olunan məsələnin sadələşdirilməsinə müraciət edirlər. Bəzən həllin riyazi ciddiliyindən imtina etmək, ikinci dərəcəli amilləri atmaq lazım gəlir. O halda detallar əks olunmur lakin hadisənin kifayət qədər tam təsviri alınır. Həllin sadələşdirilmə üsullarından biri – elektrik sisteminə bir pozisiya kimi baxmaqdır.

Pozision sistem – elə sistemdir ki, burada rejimin parametrləri cari vəziyyətdən, qarşılıqlı yerləşmədən, məsələn, generatorların və mühərriklərin rotorlarının vəziyyətindən asılıdır. Bu halda cari vəziyyətin yaranma səbəbləri və yolları əhəmiyyət kəsb etmir. Bu zaman sistemin elementinin real dinamik xarakteristikası statik xarakteristikası ilə əvəz olunur.

Statik xarakteristikalar – sistemin rejiminin analitik və qrafik şəkildə zamandan asılı olmayaraq təqdim olunmuş parametrləri arasında əlaqəsidir. Bu əlaqə əsasən sistemin qərarlaşmış rejimində aşkar olunur.

Dinamik xarakteristikalar – sistemin rejiminin zamandan asılı olaraq təqdim olunmuş parametrləri arasında əlaqəsidir. Bu halda xarakteristikaya baxılan parametrlərin birinci və ya daha yüksək törəməsinin təsiri əks olunur.

Pozision sistemin təsviri üçün statik xarakteristika kifayətdir. Dinamik xarakteristikalar elektrik sistemini dinamik sistem kimi tədqiq edilməsinə imkan verir.

Bir rejimdən digərinə dinamik keçid keyfiyyətcə qiymətləndirməyə məruz qalır. Bu zaman keçid prosesinin keçmə xarakteri (sürətli, yavaş, monoton, aperiodik) və yeni qərarlaşmış rejimin xarakteri qiymətləndirilir. Əgər keçid prosesinin tez sönməsi, aperiodikliyi, yaxud monotonluğu müşahidə olunarsa o keyfiyyətcə yaxşı hesab olunur. Keçid prosesindən sonra gələn rejimin kifayət qədər *dayanıqlıq ehtiyatı* olmalıdır. Bu hər hansı parametrin dəyişdirilməsi ilə yoxlanılır. Sistemin öz dayanıqlığını saxlaya bildiyi meyletmənin ən böyük qiyməti dayanıqlığın ehtiyatını müəyyən edir və dayanıqlıq əmsalı ilə ifadə olunur. Məsələn, gərginliyə görə ehtiyat aşağıdakı formul ilə hesablanır:

$$K_U = \frac{U_0 - U_{kr}}{U_0},$$

gücə görə ehtiyat növbəti formul ilə hesablanır:

$$K_P = \frac{P_{\max} - P_0}{P_0}.$$

Yeni qərarlaşmış rejim qəbul olunmuş keyfiyyət kriteriyası ilə qiymətləndirilə bilər.

9.3. DAYANIQLIĞIN ANALİZİ ZAMANI QƏBUL EDİLƏN ƏSAS SADƏLƏŞDİRİLMƏLƏR

Elektromaqnit keçid proseslərinin analizi zamanı qəbul edilən sadələşmələrə əlavə olaraq dayanıqlığın qiymətləndirilməsini sadələşdirən və mühəndis hesablamalrının dəqiqliyini kifayət qədər təmin edən daha bir neçə sadələşdirmə qəbul olunur:

1. Qəbul olunur ki, elektromaqnit keçid prosesinin gedişi zamanı sinxron maşınların rotorlarının fırlanma sürəti kiçik həddə, sinxron sürətin 2...3 % həddində dəyişir;
2. Hesab olunur ki, generatorun stator və rotorunun gərginliyi və cərəyanı ani olaraq dəyişir;
3. Sistemin parametrlərinin qeyri – xəttiliyi adətən, nəzərə alınmır. Rejim parametrlərinin qeyri – xəttiliyi isə əksinə, nəzərə alınır. Bundan imtina olunan hallarda o xüsusi olaraq qeyd olunur və sistem *xəttiləşmiş* adlanır;
4. Elektrik sisteminin bir rejimindən digərinə keçid sxemin məxsusi və qarşılıqlı müqavimətlərini, həmçinin generatorların və mühərriklərin EHQ-lərini dəyişməklə mümkündür;
5. Qeyri – simmetrik həyəcanlanmalar zamanı dinamik dayanıqlığın tədqiqi düz ardıcıllıq sxemi üzrə yerinə yetirilir. Hesab olunur ki, generator və mühərriklərin rotorlarının hərəkəti düz ardıcıllıq cərəyanının yaratdığı momentlə əlaqədardır.

9.4. ELEKTRİK SİSTEMİNİN DAYANIQLIĞININ HESABLANMASININ MƏSƏLƏLƏRİ VƏ QƏBUL OLUNAN ƏSAS SADƏLƏŞMƏLƏR

Statik dayanıqlığın analizi məsələləri layihə və istismar mərhələlərində həll olunur. Belə məsələlərə aşağıdakılar aiddir:

1. Son hədd rejimlərinin parametrlərinin (enerjisistemin xətləri ilə ötürülən gücün son həddi, sistemin düyün nöqtələrində yükü qidalandıran kritik gərginlik və s.) hesablanması;

2. Ehtiyat əmsalının qiymətinin təyini. Gərginlik və gücə görə ehtiyat əmsallarının 9.1 bölməsində verilən formulları ilə birlikdə ehtiyat əmsalı TAT qurğusunun köklənmə parametrlərinə görə hesablana bilər:

$$S_K = \frac{K_{max} - K_{min}}{K_{max} + K_{min}},$$

burada K_{max} və K_{min} – statik dayanıqlığın müvafiq sərhəd sahələrinin köklənmə parametrlərinin maksimal və minimal qiymətləridir;

3. Enerjisistemin statik dayanıqlığının yüksəldilməsi və ya ötürmənin verilən yükburaxma qabiliyyətinin təmin olunması üzrə tədbirlərin seçilməsi;
4. Sistemin dayanıqlığının yüksəldilməsinə istiqamətlənmiş tələblərin işlənməsi. Gərginliyin saxlanılmasının tələb olunan dəqiqliyini təmin edən TAT-ın tənzimlənmə kanallarının qiyməti seçilir.

Göstərilən məsələlərin həlli sistemin öz – özünə yırğalanmasının baş verməsinin mümkünlüyü nəzərə alınmaqla yerinə yetirilir.

Dinamik dayanıqlığın analizi məsələləri sistemin bir qərarlaşmış rejimdən digərinə keçidi ilə əlaqədardır. Bu məsələlər aşağıdakılardır:

a) elektrik sisteminin yüklənmiş elementlərinin istismarı və ya qəza açılmaları zamanı dinamik keçidin parametrlərinin hesablanması;

b) aşağıda göstərilən müxtəlif amillər nəzərə alınmaqla sistemdə QQ zamanı dinamik keçidlərin parametrlərinin təyini:
   – bir qeyri – simmetrik QQ-nın digərinə (məs. birfazlının ikifazlıya) keçməsinin mümkünlüyü;
   – QQ-dan sonra açılmış elementlərin avtomatik təkrar (ATQ) qoşma avtomatı ilə qoşulması, və s.

Dinamik dayanıqlığın hesabatının nəticələri aşağıdakılardır:

– sistemin ən təhlükəli nöqtəsində QQ-nın hesabat növünün açılmasının son hədd vaxtı;

– elektrik sisteminin müxtəlif elementlərində quraşdırılmış ATQ sisteminin fasilələri;

– ehtiyatın avtomatik qoşulma (EAQ) sisteminin parametrləri.

Hesabatlar bir qayda olaraq qeyri – xəttiliyin və vacib dinamik xarakteristikaların nəzərə alınması ilə yerinə yetirilir.

EES qeyri-xətti mürəkkəb dinamik sistemlər sinifinə aiddir. Bu səbəbdən proseslərin dəqiq riyasi təsvirini formalaşdırmaq mümkünsüz olduğundan EES-ni tam riyazi analiz etmək mümkün olmur. Buna görə də dayanıqlıq hesablamaları zamanı qəbul olunan əsaslar adətən sadələşmələr məcmusundan ibarətdir. Eyni zamanda sadələşmələr proseslərin məzmununu dəyişdirməməməli və hesablamaların nəticələrinin dəqiqliyinə kəmiyyətcə təsir etməməlidir. Dəqiqliyə qoyulan tələblər təmin edilməlidir. Sadələşmələr çətinlikləri azaldır və rjim parametrləri arasında q-xətti asılığları sadələşdirir.

Əvvəlki hissədə qəbul olunmuş sadələşmələrə əlavə olaraq, dayanıqlıq hesablamalarında növbəti sadələşmələr qəbul olunur:

- elektromexaniki keçid prosesi müddətində sinxron maşınların fırlanma surətinin təqribən 2-3 % çərçivəsində kiçik hədlərdə dəyişməsi qəbul olunur;
- Generatorların gücünün ani dəyişməsi hesab olunur;
- Enerji təchizatı sxemlərində olan dəyişiklikləri sinxron maşının yeni EHQ və müqavimətini daxil etməklə nəzərə alanır;
- Qeyri – simmetrik rejim əvəz sxemi vasitəsilə simmetrik rejimə gətrilir;
- Generator və transformatorlarda metalın doyması nəzərə alanmır;
- Uzununa ox üzrə təsirlənmə dolağının yekun ilişmə seli keçid prosesi müddətində sabit qalması qəbul olunur. Bu generatorun çıxışında müqavimətə tətbiq olunan EHQ-nin dəyişməz qalmasına uyğundur.

YOXLAMA SUALLARI

1. Dayanıqlıq problemini izah edin.
2. Pozision sistemi digər sistemlərdən fərqləndirilən cəhətlər hansılardır?
3. Dayanıqlıq ehtiyatı nə üçün lazımdır?
4. Statik dayanıqlığın əsas məslələri hansılardır?
5. Dinamik dayanıqlığın əsas məsələləri hanılardır?
6. Dayanıqlığın hesablamalarında qnan əsas sadələşmələr hansılardır?

X FƏSİL

STATİK DAYANIQLILIQ

EES-nin fəaliyyəti energetiklər qarşısında yeni problemlər qoyur. Bu problemlərdən biri ststik dayanıqlığın təmin olunmasıdır.

Enerji sisteminin statik dayanıqlığı iki aspektdə baxılır:

- verilən qərarlaşmış rejimin onun rejim parametrlərinin ilkin qiymətlərindən kiçik meyletmələrindən özünü bərpaetməsi xassəsi kimi;
- Tədricən pisləşən qərarlaşmış (həmçinin hədd rejiminə qədər) rejimin kiçik meyletmələr və rəqslərdən özünü bərpaetmə xassəsi kimi.

Bu hər iki variant yanaşma sadə sxemlər üçün stil şəklində verilmişdir (*şəkil 4.1G*)

Ən sadə mexaniki sistemlərin təhlilindən görsənir ki, sistemin elə halı (rejimi) mövcuddur ki, təsadüfi həyacanlanmalarından sonra sistem ilkin və ya ona yaxın rejimini bərpa etmək üçün cəhd göstərir. Digər rejimlərdə təsadüfi həyacanlandırıcı təsir sistemin ilkin vəziyyətindən (rejimindən) uzaqlaşmasına gətirib çıxarır. Birinci halda sistem dayanıqlı, ikincidə isə qeyri-dayanıqlıdır.

Qərlaşmış rejimdə dayanıqlıq (statik dayanıqlıq) *keçid rejiminin energetikası* ilə təyin olunur. Qəralaşmış rejimdə sistemə daxil olan mənbənin enenrjisi ilə yükdə sərf olunan və itkinin örtülməsinə (elektrik enerjisinin nəqlinə və texnoloji prosesinə sərf olunan) enerji arasında balans mövcuddur.

Rejimin mümkün olması, onun heçdə dayanıqlı olmasına dəlalət etmir. Dayanıqlığın pozulmasının təbiəti həmişə elektrik sistemlərin energetik xassələri ilə müəyyən olunur.

Qərarlaşmış rejimdə sistemə daxil olan W_G enerjisi istehlakçıların tələbini və itkinin örtülməsinə sərf olunur. Həyacanlanmalardan sonra reimi müəyyən edən parametrlərin dəyişməsinə və balansın pozulması ilə nəticələnir. Əgər sistem elə xassələrə malikdir ki, onun enerjisi həayacanlandırıcı təsirdən sonra, elektrik stansiyalarda hasil olunandan daha intensiv sərf olunur, onda təsir nəticəsində yaranan rejim, əlavə enerji ilə təmin olunan bilməz və sistemdə ilkin və ya ona yaxın rejim bərpa olunmalıdır. Belə sistem dayanıqlıdır.

Statik dayanıqlıq haqqında dəqiq təsəvvür yaratmaq məqsədilə, adətən elementar sxmlərdən istifadə olunur.

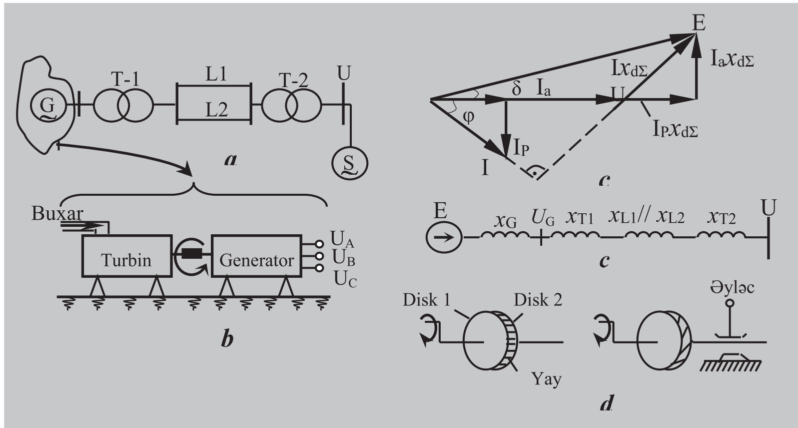
10.1. ELEMENTAR SİSTEMİN STATİK DAYANIQLIĞI

Elementar sistem dedikdə elə sistem başa düşülür ki, burada tək elektrik stansiyası (ekvivalent generator) dəyişməz gərginlikli şin ilə (sistemlə), transformatorla və stansiyadan sistemə gücü ötürən xətlə əlaqəlidir (*şəkil 10.1, a*). Sistemin stansiyalarının ümumi gücünün, baxılan stansiyanın gücündən həddən artıq böyük olduğu qəbul edilir. Bu imkan verir ki, elementar sistemin istənilən iş rejimində sistemin şinlərində gərginliyi dəyişməz (U = const) hesab edək.

Şəkil 10.1, *b*-də istilik elektrik stansiyasının iki əsas aqreqatı: turbin və generator göstərilib. Turbinin rotoru elektrik stansiyasının buxar generatorundan turbinə verilən buxarla fırladılır. Turbinin fırladıcı momenti enerji daşıyıcısının miqdarından asılıdır. Buxar turbini üçün bu – buxar, hidroturbin üçün isə – sudur. Normal istismar rejimində enerjidaşıyıcının əsas parametrləri – buxarın temperaturu və təzyiqi – sabit olur. Ona görə də turbinin fırladıcı momenti dəyişməz qalır. Generatorun sistemə verdiyi güc bir neçə parametrlə müəyyən olunur ki, onların da təsiri generatorun güc xarakteristikasından asılıdır.

Güc xarakteristikasını almaq üçün elektrik verilişinin vektor diaqramı qurulmuşdur (*şəil. 10.1*, *c*). O, *şəkil 2.10*, *a*-da təsvir olunan diaqramı təkrarlayır. Lakin burada cərəyanın tam vektoru onun həqiqi və xəyali mürəkkəbələri ilə əvəz olunub, x_d müqaviməti isə sistemin *şəkil 10.1*, *ç*-də göstərilən əvəz sxemindən alınan $x_{d\Sigma}$ ilə əvəz olunub:

$$x_{d\Sigma} = x_d + x_{T1} + x_{L1} / x_{L2} + x_{T2}.$$



Şək. 10.1. Elementar sistemin statik dayanıqlığının qiymətləndirilməsi: a – sistemin prinsipial sxemi; b – turbin – qenerator bloku; c – generatorun vektor diaqramı; ç – sistemin əvəz sxemi; d – turbin – generator blokunun mexaniki analoqu

Vektor diaqramından görünür ki,

$$I_a x_{d\Sigma} = E \sin\delta,$$

burada I_a – cərəyanın aktiv mürəkkəbəsi, δ – EHQ *E* –nin *U* gərginliyinə nisbətən sürüşmə bucağıdır. Bərabərliyin hər iki tərəfi $U/x_{d\Sigma}$-ə vursaq aşağıdakını alarıq:

$$UI_a = P = \frac{EU}{x_{d\Sigma}} \sin\delta, \quad (10.1)$$

burada *P* generatorun verdiyi aktiv gücdür (bu ifadə birfazlı dövrə üçün alınmışdır. Eyni zamanda, *E* və *U* parametrlərini fazlararası kəmiyyət kimi, anlamında *P* üç fazın gücü olacaqdır. Nisbi vahidlər sisitemində isə, ümumiyyətlə faz və fazlararası kəmiyyətlərin fərqləndirilməsi üçün zərurət yoxdur).

(10.1) asılılığı sinusoidal xarakterlidir və generatorun *güc xarakteristikası* adlanır. Sabit *E* EHQ və *U* gərginliyi olan hallarda generatorun dönmə bucağı ancaq onun aktiv gücü ilə təyin olunur, o da öz növbəsində turbinin gücü ilə təyin olunur. Turbinin gücünün (momentinin) sürüşmə bucağı δ-dan asılılığının əyani şəkli yay vasitəsi ilə birləşdirilmiş iki disk sistemidir (*şəkil 10.1, d*). Yüksüz işləmə (Yİ) rejimində (sürtünmə nəzərə alınmamaqla) hərəkətə gətirən (rotorun sahəsi turbinlə əlaqədardır) və hərəkətə gələn (statorun sahəsi) disklər bir – birinə nisbətən sürüşmə bucağı yaratmırlar. Tormozlayıcı moment (statorun reaksiyası) yarandığı zaman tormozlayıcı bucaq nə qədər çox olarsa disklər arasındakı sürüşmə bucağı da bir o qədər çox olacaq. Aydındır ki, tormozlayıcı momentin artması zamanı bir diskin digərinə nisbətən tam dairəvi dönməsi baş verə bilər ki, bu baxılan sistemin dayanıqlığının pozulmasıdır.

Turbinin gücü enerjidaşıyıcının miqdarından asılıdır və *P*, δ koordinatlarında düz xətlə təsvir olunur.

Generatorun *E* EHQ–nin və qəbuledici sistemin *U* gərginliyinin müvafiq qiymətlərində güc xarakteristikası maksimum olur və aşağıdakı formul ilə hesablanır:

$$P_{\max} = \frac{EU}{x_{d\Sigma}}. \qquad (10.2)$$

Bəzən bu qiymət elementar elektrik sistemin gücünün “ideal” son həddi adlanır. Turbinin gücünün verilmiş qiymətinə *a* və *b* xarakteristikalarının kəsişməsinin iki nöqtəsi uyğundur (Ş*əkil 10.2*, *a*). Bu nöqtələrdə generatorun və turbinin gücləri bir – biri ilə bərabərləşir.

a nöqtəsində iş rejiminə baxaq. Əgər generatorun gücü hər hansı bir səbəbdən ΔP qədər dəyişərsə, o zaman δ bucağı da sinusoidal asılılıqla gedərək Δδ qədər dəyişəcək. *Şəkil 10.2*, *a*-da

görünür ki, *a* nöqtəsində gücün müsbət artımı bucağın müsbət artımına uyğundur.

Generatorun gücünün dəyişilməsi zamanı generator və turbin momentlərinin tarazlığı pozulur. Generatorun, onu turbinlə əlaqələndirən valında gücün artması zamanı tormozlayıcı momentin artıqlığı baş verir. Çünki generatorun tormozlayıcı momenti turbinin fırladıcı momentindən artıq olur. Tormozlayıcı momentin təsiri altında generatorun rotoru yavaşımağa başlayır. Bu isə rotorun yerdəyişməsinə və onunla əlaqədar olan **E** EHQ-nin vektorunu δ bucağının azalmasına tərəf dəyişməsinə gətirib çıxardır (*Şəkil. 10.2*, *b*). Qeyd etmək lazımdır ki, nominaldan artıq momentin təsiri altında rotorun yerləşdirilməsi onun hərəkətinin üzərinə müsbət istiqamətdə, sinxron sürətlə əlavə olunur ki, bu sürət yerdəyişmənin sürətindən dəfələrlə yüksəkdir. Nəticədə *a* nöqtəsində ilkin iş rejimi bərpa olunur və statistik dayanıqlığın təyinindən də göründüyü kimi bu rejim dayanıqlır. Belə bir nəticəni *a* nöqtəsində generatorun gücünün azalması zamanı da almaq olar. *b* nöqtəsində generatorun gücünün mənfi artımına bucağın müsbət artımı uyğundur.

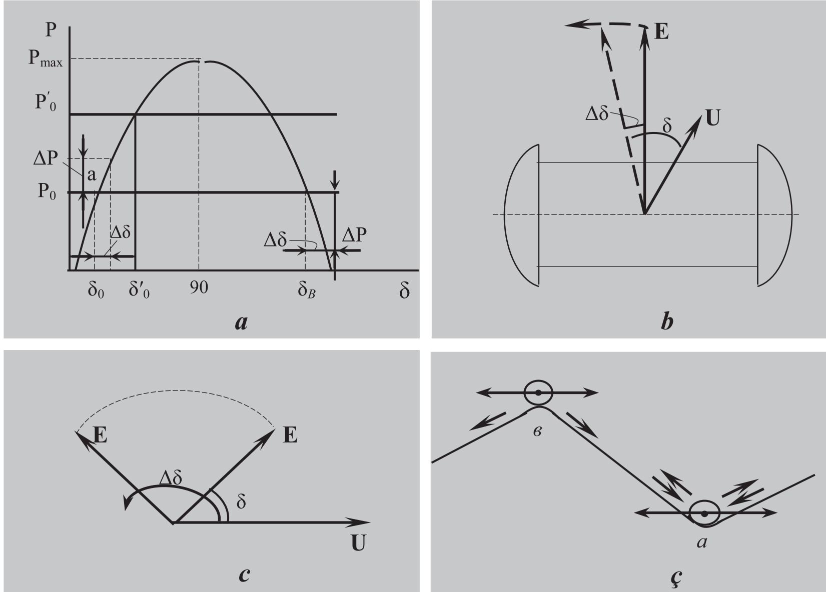
Generatorun gücünün azalması zamanı onun valında əlavə sürətləndirici moment yarnır ki, bu da δ bucağını artırır. Bucağın artması ilə generatorun gücü azalır. Bu sürətləndirici momenti artırır, yəni *sinxronizmdən düşmə* adlanan selvari proses baş verir. Nəticədə, generatorun sinxronizmdən düşmə prosesi və asinxron rejim *E* EHQ vektorunun qəbuledici sistemin U gərginliyinə nisbətən fasiləsiz yerini dəyişməsi ilə xarakterizə olunur (*şəkil. 10.2*, *c*).

Əgər *b* nöqtəsində əlavə tormozlayıcı moment yaranırsa (generatorun gücü artacaq) o, turbin – generator sisteminin işçi nöqtəsinin yerini *a* nöqtəsinə dəyişdirəcək.

Beləliklə, güc xarakteristikasının *a* nöqtəsi dayanıqlı bərabərlik nöqtəsi, *b* nöqtəsi isə turbin – generator momentlərinin dayanıqsız bərabərlik nöqtəsidir. Odur ki, güc xarakteristikasının yüksələn hissəsində yerləşən bütün nöqtələr sistemin dayanıqlı işləmə nöqtələri, xarakteristikasının azalan hissəsində yerləşən bütün nöqtələr dayanıqsız işləmə nöqtələrdir. Dayanıqlı və dayanıqsız işləmə zonasının sərhədi güc xarakteristikasının maksimumudur.

Statik dayanıqlıq nöqteyi nəzərindən baxılan sistemin mexaniki analoqu *şəkil 10.2, ç*-də göstərilən əyilmiş səthdə yerləşən kürəcik ola bilər. *a* nöqtəsinin vəziyyəti dayanıqlıdır, çünki kürəciyin

istənilən tərəfə sağa, yaxud sola yerinin dəyişməsi (kiçik olsa da) onun ilkin vəziyyətə qayıtması ilə qurtarır. Bundan fərqli olaraq *b* nöqtəsinin vəziyyəti dayanıqsızdır, ona görə ki, kürəciyin yerinin kiçicik dəyişməsi onun yeni vəziyyət alması ilə nəticələnir.



Şək. 10.2. Elementar sistemin statik dayanıqlığının kriteriyasının təyini üçün: a – güc xarakteristikası; b – tarazlıq vəziyyətindən EHQ vektorunun meyletməsi; c – sinxronizmdən düşmə; ç – mexaniki izah (interpretasiya)

Elektrik sisteminin statik dayanıqlığının formal əlaməti güc artımının bucaq artımına işarə olunması ola bilər. Əgər $\Delta P/\Delta\delta > 0$ olarsa, onda sistem dayanıqlı, əgər bu nisbət mənfi olarsa, onda sistem dayanıqsız olur. Son həddə keçərək, elementar sistemin dayanıqlığının kriteriyasını aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\frac{dP}{d\delta} > 0.$$

Turbinin gücünün qiymətinin P_0 –dan P'_0 –a qədər artırılması (*şəkil 10.2, a*) rotorun dönmə bucağının δ'_0 –a qədər artmasına və statik dayanıqlığın azalmasına gətirib çıxarır. Bu dayanıqlıq aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$K = \frac{P_{\max} - P_0}{P_0} 100\%. \qquad (10.3)$$

Stansiyanı enerjisistemin şini ilə əlaqələndirən elektrik verilişinin dayanıqlıq ehtiyatı normal rejimdə 20% -dən və qısa müddətli qəza rejimindən sonra rejimlərdə isə 8 % -dən aşağı olmamalıdır.

10.2. GENERATORUN ROTORUNUN HƏRƏKƏT TƏNLİYİ

Elektromexaniki keçid proseslərinin öyrənilməsinin əsas bərabərliklərindən biri *generatorun rotorunun hərəkət tənliyi* hesab olunur.

Generatorun stator dövrəsində kiçik həyacanlanma **E** ehq vektorunun qəbuledicilər sisteminin **U** vektoruna nisbətən δ sürüşmə bucağının, izafi momentin işarəsindən asılı olaraq artma və ya azalma istiqamətində dəyişməsini (rotorun hərəkətini) şərtləndirir. Həyəcanlanma enerjisi aqreqatının fırlanan hissəsinə (turbinin rotoruna, vala və generatorun rotoruna, sonradan şərti olaraq generatorun rotoru kimi qəbul olunacaq) bir qədər α təcilini verir. Bu, *ΔM* izafi momentinə mütənasibdir və inersiya momenti J_0 ilə tərs mütənasibdir. Onda generatorun rotoru Nyutonun 2-ci qanununa əsasən növbəti bərabərliklə ifadə oluna bilər:

$$\boldsymbol{\alpha} = \frac{\Delta \boldsymbol{M}}{\boldsymbol{J}_j} \qquad (10.4)$$

Burada, *α* – generatoun rotorunun fırlanma təcili;

J_0 - inersiya momenti;

ΔM – vala təsir edən momentlərin qeyri balansı olmaqla növbəti

ifadə ilə təyin olunur:

$$\Delta M = M_T - M_M - M_{ELM}$$

M_T - turbin tərəfindən yaradılan fırlanma momenti;

M_M - yastıqların sürtünməsi və soyutma mühütünin yatadığı müqavimət (tormuzlama) momenti;

M_{ELM} - generatorun elektrik yükü ilə müəyyən olunan və rotor və stator sistemlərinin qarşılıqlı təsirini ifadə edən elektromaqnit momentidir.

M_M müqavimət (tormuzlama) momenti nominal momentin orta hesabla 3 %-i səviyyəsində olduğunu nəzərə alaraq, bəarabərliyin sadələşdirilməsi məqsədilə nəzərə alınmır, yəni izafi momentin ifadəsi növbəti şəkil alır:

$$\Delta M = M_T - M_{ELM}$$

(9.4) formuluna qayıdaraq və nəzərə alaraq ki, təcil bucaq surətinin zamana görə törəməsidir və qiymətcə momentin dəyişməsinə bərabərdir, yəni

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\Delta M}{J_0} \quad , \qquad (10.4a)$$

onda rotorun hərəkət tənliyini növbəti şəkildə yazmaq olar:

$$J_0 \frac{d\omega}{dt} = \Delta M \ , \qquad (10.4b)$$

Burada ω – fırlanmanın bucaq surəti olaraq $\omega_0 + \Delta\omega$ kimi, yəni, ω_0 Sinxron surətin və $\Delta\omega$ sinxron oxa nisbətən rotorun yerdəyişmə surətinin cəmi formasında ifadə oluna bilər.

(10.4b) ifadəsindəki bütün mürəkkəbələri nisbi vahidlər sistemində (n.v.s.) ifadə edək. Bu məqsədlə, ifadənin sağ və sol tərəflərini $M_{nom} = S_{nom}/\omega_0$ nominal momentə bölərək nəticəni növbətə formada ifadə edək [3]:

$$\frac{J_0\omega_0}{S_{nom}} \frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{\Delta M}{M_{nom}} = \Delta M_* \ . \qquad (10.5)$$

(9.5) ifadəsinin sonrakı çevrilmələrindən alırıq:

$$\frac{1}{\omega_0} \frac{J_0\omega_0^2}{S_{nom}} \frac{d\Delta\omega}{dt} = \Delta M_* \ ;$$

$$\frac{1}{\omega_0} T_j \frac{d\Delta\omega}{dt} = \Delta M_* \ ;$$

$$T_j \frac{d\Delta\omega_*}{dt} = \Delta M_* \ , \qquad (10.5a)$$

Burada ω_0 - sinxron tezlik,

T_j - *rotorun (firlanan hissələrinin) inersiya sabiti*, sürətin kiçik dəyişmələrində və müqavimət momentinin sabit halında, rotorun sürətinin, nominal izafi momentin təsiri altında sıfırdan nominala qədər dəyişməsinə sərf olunan zamandır və növbəti ifadə ilə təyin olunur [17]:

$$T_j = \frac{J_0 \omega_0^2}{S_{nom}} \quad , \qquad (10.5b)$$

$$T_j = \frac{2.74 GD^2 n^2}{1000 S_{nom}}, \text{(san)}$$

burada GD^2 – təkan (max, yerindən tərpətmə) momentidir, $t \cdot m^2$;
n –fırlanma sürətidir, dövr/ dəq;
S_{nom} – generatorun nominal gücüdür, kVA.

Zaman üzrə bazis vahidini daxil edib çevirmələr edərək (10.5a) ifadəsindən növbəti bərabərlikləri alırıq:

$$\frac{t_b}{t} T_j \frac{d\Delta\omega_*}{dt} = \Delta M_* \quad ,$$

$$T_{j*} \frac{d\Delta\omega_*}{dt_*} = \Delta M_* \quad . \qquad (10.5c)$$

Axırıncı bərabərlikdə iştirak edən mürəkkəbələr n.v.s.-də verilimişdir. Adətən, keçid proseslərinin hesablamalarında zaman kəsiyi qismində 1 radian qəbul olunur, yəni

$$t_b = \frac{1}{\omega_0} = \frac{1}{314}[s] = 1[rad] \quad .$$

Radian – sinxron bucaq surətində bucağın 1 radinan dəyişməsinə sərf olunan zaman müddətidir.

EES-də elektromexaniki KP-nin hesablamalarında, adətən, ΔM izafi momentin qeyri-balansının əvəzinə ΔP izafi gücün qeyri-

balansından (P_T turbin və P_G generatorun gücü arasında qeyri-balans) istifadə olunur,

$$\Delta P = P_T - P_{ELM} \qquad (10.6)$$

Nisbi vahidlər sistemində yuxarıda qeyd olunan qeyri-balanslar arasında əlaqə növbəti ifadə ilə təsvir olunur:

$$\Delta M_* = \frac{\Delta P}{\omega}\frac{\omega_0}{S_{nom}} = \Delta P_* \frac{\omega_0}{\omega_0 + \Delta\omega} = \Delta P_* \frac{1}{1+\Delta\omega_*} ,$$

Burada $\Delta\omega_* = \omega_* - 1$ bucaq surətinin dəyişən mürəkkəbəsi olmaqla, dinamik keçid proseslərində generatorun rotorunun yırğalanması ilə şərtlənir.

$\Delta\omega_*$ mürəkkəbəsinin kəmiyyətcə kiçik olduğunu nəzərə alaraq ($\Delta\omega_* = 0{,}01...0{,}2$), (10.5c) bərabərliyində, adətən, nəzərə alınmır və sözügedən ifadə n.v.s-nə aid olunması ilə bağlı hər hansı müəyyən əlamət qeyd olunmadan növbəti şəkildə ifadə olunur:

$$T_j \frac{d\Delta\omega}{dt} = \Delta P \quad . \qquad (10.7)$$

Generatorun rotorunun hərəkətinin parametrləri, α bucaq təcili, ω bucaq surəti və θ buacaq sürüşməsi (yerdəyişməsi) öz aralarında növbəti ifadə ilə əlaqələndirilir:

$$\alpha = \frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad . \qquad (10.8)$$

Burada θ bucağı tərpənməz oxa nəzərən hesablanır və adətən, bu ox stator dolağının *A* fazasının maqnit oxu ilə üst-üstə düşür (*şəkil10.3*).

θ və δ bucaqları arasında əlaqə növbəti funksiya ilə təyin olunur:

$$\theta = \omega_0 t + \delta \quad , \tag{10.9}$$

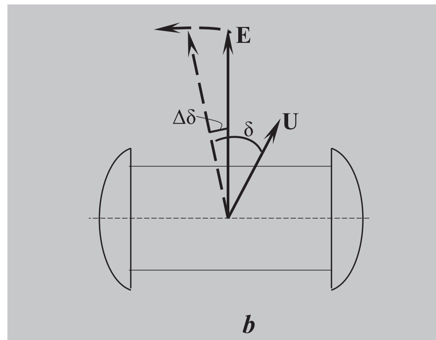
Burada $\omega_0 t$ - sinxron fırlanan oxun bucağının dəyişməsini göstərir.

(10.9) ifadəsinin ikiqat diferensiallanmsı növbəti bərabərliy,

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{d^2\delta}{dt^2} \quad . \tag{10.10}$$

və ya (10.8) ifadəsini nəzərə almaqla, (10.11) bərabərliyini verir:

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{d^2\delta}{dt^2} \quad . \tag{9.11}$$



Şəkil 10.3. Generatorun rotorunun hərəkətinin parametrləri.

(10.6) və (10.11) ifadələrinin sağ tərəflərini generatorun rotorunun hərəkət bərabərliyi (10.6)-də yerinə yazsaq, onda *hərəkət tənliyi növbəti yekun (əsas) formasını* alırıq:

$$T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P_{ELM} \quad , \tag{10.12}$$

Burada bütün mürəkkəbələr n.v.s-də təqdim olunub:
T_j [rad]; t [rad]; P_T[n.v.]; P_{EM}[n.v.].

Cədvəl 10.1. generatorun rotorunun hərəkət tənliyinin müxtəlif formaları

Generatorun rotorunun hərəkət tənliyi	T_j	t	δ	P
$T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P_{ELM}$	*rad*	*rad*	*rad*	*n.v.s.*
$\omega_0 T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P_{EM}$,	*s*	*rad*	*rad*	*n.v.s.*
$\frac{T_j}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P_{EM}$,	*s*	*s*	*rad*	*n.v.s.*
$\frac{T_j}{360 f_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P_{EM}$,	*s*	*s*	*el.dər*	*n.v.s.*
$\frac{T_j S_b}{360 f_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P_{EM}$,	*s*	*s*	*el.dər*	*kVt*

Qeyd edək ki, (10.12) generatorun rotorunun hərəkət tənliyinin δ = *f*(t) formasında həlli *δ* bucağının zamana görə dəyişməsinin təsvirini verir və generatorların dayanıqlığı haqqında fikir söyləməyə imkan verir. Praktiki hesabalamlarda T_j, δ, *t* və *P*-nin hansı vahidlərdə ifadə olunmasından asılı olaraq *cədv. 10.1*-də göstərilən müxtəlif formalarından da istifadə olunur.

Eyni zamanda, (10.12) ifadəsi qeyri-xəttidir və xüsusi hal istisna olmaqla ümumi şəkildə həlli yoxdur. Bu səbəbdən, tənliyi ədədi inteqrallama üsulu ilə həll etmək lazım gəlir.

10.3. AYDIN QÜTBLÜ GENERATORUN GÜC XARAKTERİSTİKASI

Aydın qütblü sinxron maşınların xüsusiyyətləri 2.1.2 bəndində təsvir olunub, orada həmçinin onun vektor diaqramı verilib. Güc xarakteristikasını almaq üçün stansiyanın sistemə verdiyi aktiv gücün ifadəsini aşağıdakı şəkildə yazaq (*şəkil 2.6*-ya bax):

$$P = UI\cos\varphi = UI\cos(\Psi - \delta) = I\cos\Psi U\cos\delta + I\sin\Psi U\sin\delta.$$
(10.8)

Vektor diaqramından irəli gələn $E_q - I_d x_d = U_q,\ I_q x_q = U_d$

burada $U_q = U\cos\delta;\ I_d = I\sin\Psi;\ U_d = U\sin\delta;\ I_q = I\cos\Psi$

nisbətlərini nəzərə alaraq, yaza bilərik:

$$P = I_q U\cos\delta + I_d U\sin\delta = \frac{U^2}{x_q}\sin\delta\cos\delta + \frac{E_q U}{x_d}\sin\delta - \frac{U^2}{x_d}\sin\delta\cos\delta.$$

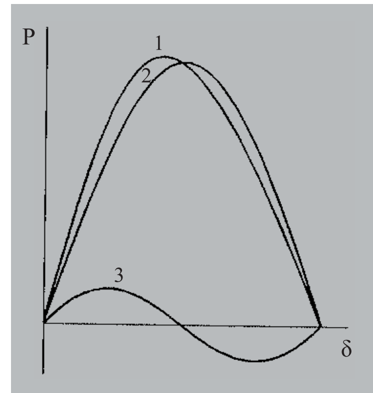
$\sin\delta\cos\delta = 0.5\sin 2\delta$ olduğunu nəzərə alaraq, yaza bilərik:

$$P = \frac{E_q U}{x_d}\sin\delta + \frac{U^2}{2}\frac{x_d - x_q}{x_d x_q}\sin 2\delta. \qquad (10.9)$$

Alınan ifadədən görünür ki, aydın qütblü generatorun xarakteristikasının tərkibində əsas sinusoidal mürəkkəbələrdən başqa ikiqat tezlikli ikinci mürəkkəbə də vardır . Onun amplitudu x_d və x_q induktiv müqavimətlərinin fərqinə mütənasibdir. İkiqat tezlikli mürəkkəbəsi güc xarakteristikasının maksimumunu kiçik bucaq tərəfə yerini dəyişdirir (*şəkil 10.3)*.

Güc xarakteristikasının amplitudu qeyri – aydın qütblü maşının xarakteristikası ilə müqayisədə artır. Lakin bu artım yalnız E_q EHQ-nin kiçik qiymətlərində əhəmiyyətlidir, yəni (10.9) ifadəsinin birinci və ikinci mürəkkəbələri eyni bir tərtibdə olduqda əhəmiyyətlidir. Adi şəraitdə ikinci harmonikanın amplitudu əsas

harmonikanın amplitudunun 10...15 % -ni təşkil edir və xarakteristikasına nəzərə
çarpacaq dərəcədə təsir etmir.



Şək. 10.3. Aydın qütblü maşının güc xarakteristikası:
P(δ) – əyri *1;* $E_q U/x_d \sin\delta$ – əyri *2* ;
$\frac{U^2(x_d - x_q)}{2(x_d x_q)}\sin 2\delta$ – əyri *3*

10.4. TAT QURĞUSU OLAN GENERATORUN GÜC XARAKTERİSTİKASI

Şəkil 10.1, *a*-da göstərilən elementar sistemin sxeminə baxaq. Fərz edək ki, generatorda gərginliyin tənzimlənmə sistemi yoxdur. Baxılan sistemin vektor diaqramını quraq və onada generatorun şinində $\mathbf{U}_G$-ni ayıraq (*şəkil 10.4*, *a*). O, sistemin xarici müqavimətində gərginlik düşgüsündən asılıdır, yəni:

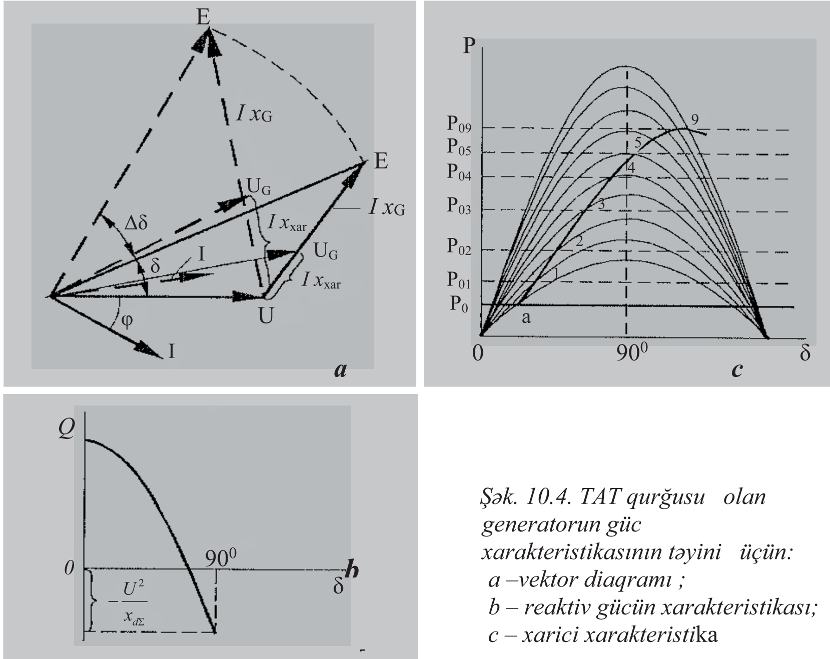
$$\mathbf{U}_G = \mathbf{U} + \mathbf{I}x_{xar},$$

burada x_{xar} – xarici müqavimətdir və transformatorların və xətlərin müqavimətlərinin cəmi ($x_{xar} = x_{T1} + x_{L1} // x_{L2} + x_{T2}$) kimi təyin olunur.

$\mathbf{U}_G$ gərginlik vektoru tam gərginlik düşgüsü vektoru $\mathbf{I}x_{d\Sigma}$ -nı generatorun şinində gərginlik vektorunu induktiv müqavimətlərə (x_d və x_{xar})-ə mütənasib olaraq iki hissəyə bölür. Verilən aktiv gücü ΔP və bununla bərabər δ bucağını Δδ qədər artıraq. Bu sistemə verilən reaktiv gücün dəyişməsinə səbəb olacaq. Reaktiv gücün δ

bucağından asılılığını əldə etmək üçün *şəkil 10.1*, *c*-də göstərilən vektor diaqramından irəli gələn ifadəni yazaq:

$$\mathbf{U} + \mathbf{I}_{\mathrm{R}} x_{d\Sigma} = \mathbf{E}\cos\delta.$$



Şək. 10.4. TAT qurğusu olan generatorun güc xarakteristikasının təyini üçün:
a –vektor diaqramı ;
b – reaktiv gücün xarakteristikası;
*c – xarici xarakteristi*ka

Bu ifadənin sağ və sol tərəflərini U -ya vursaq $\mathrm{U}^2 + Qx_{d\Sigma} = EU\cos\delta$ alarıq. Buradan Q-nü təyin edərək, generatorun verdiyi reaktiv gücün δ bucağından asılılığını yazaq (*şəkil 10.1*, *b*):

$$Q = \frac{EU}{x_{d\Sigma}}\cos\delta - \frac{U^2}{x_{d\Sigma}}.$$

Bu ifadəyə *şəkil 10.4*, *b* -də təsvir olunan əyri uyğun gəlir.

Şək. 10.4, a-da verilən vektor diaqramına qayıdaq. δ bucağının artması reaktiv gücün azalmasına səbəb olacaq, ona görə də **I** cərəyan vektoru φ bucağının azalma istiqamətinə tərəf dönəcək. Cərəyan vektorunun yeni vəziyyəti diaqramda qırıq xətlərlə göstərilib (fərz edilir ki, Q gücü işarəsini dəyişib və cərəyan **U** gərginliyini qabaqlayıb). Bu cərəyana **E** EHQ-nin qırıq xətlərlə göstərilən yeni vəziyyəti uyğundur. $x_{d\Sigma}$ müqavimətində gərginlik düşgüsünü bundan əvvəlki halda olduğu nisbətdə bölərək generatorun şinində gərginliyin yeni qiymətini taparıq.

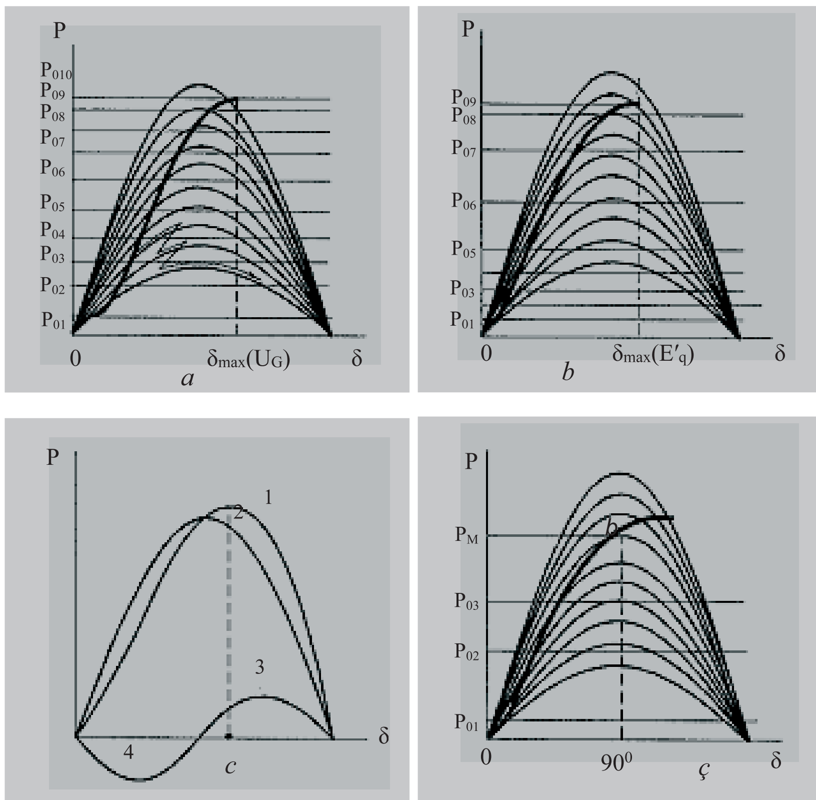
Diaqramdan görünür ki, δ bucağının artması generatorun şinində gərginliyi azaldır.

İndi fərz edə ki, *generator TAT qurğusu ilə təchiz olunub* və o, $\mathbf{U_G}$ gərginliyinə nəzarət edir. Bu halda, gərginliyin azalması zamanı tənzimləyici təsirlənmə cərəyanını, onunla bərabər **E** EHQ-ni gərginliyin əvvəlki qiyməti bərpa olunana qədər artırır.

δ bucağının müxtəlif qiymətləri zamanı TAT qurğusu olan generatorun qərarlaşmış iş rejiminə baxarkən əksər hallarda $\mathbf{U_G}$ gərginliyinin sabit olduğu nəzərdə tutulur. Bu zaman δ bucağının artması ilə generatorun EHQ-si artacaq. *Şəkil 10.4, c*-də EHQ-nin müxtəlif qiymətləri üçün qurulan $P = f(\delta)$ xarakteristikaların ailəsi göstərilib. Əgər ilkin nöqtə kimi normal rejim nöqtəsi *a*-nı qəbul etsək, P_0 gücü artdıqda (onun artması δ bucağının artması ilə müşayət olunur) qərarlaşmış rejimin yeni nöqtələri vektor diaqramına (*Şəkil. 10.4, a*) müvafiq olaraq bir xarakteristikadan digərinə keçidlə təyin olunacaqlar. Təsirlənmənin müxtəlif səviyyələrinə uyğun olan qərarlaşmış rejimlərin nöqtələrini öz aralarında birləşdirsək *generatorun xarici xarakteristikasını* alarıq. δ bucağının 90^0 -dən çox ($\delta > 90^0$) sahəsində də o artır və bucağın $\delta_G = 90^0$ qiymətində o maksimuma çatır, burada δ_G-generatorun şinində $\mathbf{U_G}$ gərginlik vektorunun bucağıdır. Lakin bucağın 90^0 -dən böyük sahəsində işləməyin mümkün olması təsirlənmə tənzimləyicisinin tipindən asılıdır.

---

* Gücləndirmə əmsalı təsirlənmənin və generatorun gərginliyinin ədədi vahidlərdə nisbəti kimi təyin olunur [17].



Şək. 10.5. TAT qurğusu ilə təchiz olunmuş generatorların güc həddinin təyini üçün: a – U_G=const; b,c – E'_q üçün; ç – həssas olmayan zonalı PTT; c üçün 1 əyrisi – $P'_{q=const}(\delta)$, 2 əyrisi – $(E'_q U)/x_{d\Sigma}\sin\delta$, 3 əyrisi – $\delta_M(E_q)$, 4 əyrisi – $(u^2/2)(x_d - x'_d)/(x_{d\Sigma}\, x'_{d\Sigma})\sin 2\delta$

Proporsional tipli tənzimləyicilərin (PTT) gücləndirmə əmsalının* (nisbi) K_{0g} = 50...100 zamanı generatorun şinində gərginliyi təqribən sabit ($\Delta U_G \cong 0$) saxlamağa imkan verir. Lakin, belə yüksək gücləndirmə əmsalı TAT qurğusu ilə təchiz olunmuş generatorun maksimal gücündən çox da böyük deyil. Bu onunla əlaqədardır ki, güc xarakteristikasının bəzi nöqtələrində verilən güc artırıldıqda (*şək. 10.5*, *a*, nöqtə 3) generatorun öz – özünə yırğalanması başlyır, yəni rotorun artan amplitudalı periodik rəqsi generatoru sinxronizmdən

çıxarır. Ona görə də PTT vasitəsi ilə U_G = const saxlamağa çalışmırlar. Yükün artması ilə onun bir gədər azalmasına yol verilir. Bu halda gücün artırılmasının mümkün olan həddindən (P_{max}-dən) xeyli çox olan P_3 gücünü əldə etmək mümkündür (*şək. 10.5*, *b*). Gücləndirmə əmsalının K_{0g} = 20...40 həddində güc xarakteristikasının maksimumu təqribən, generatorun xarakteristikasının E'_q =const olduğu halda alınan maksimuma uyğun olur. Ona görə də *proporsional tipli tənzimləyici ilə təchiz olunmuş generator əvəz sxemində* x'_d *keçid müqavimətinə qoşulmuş keçid EHQ* E'_q *kimi göstərilə bilər*.

Əgər fərz etsək ki,

$$I_q = \frac{U \sin \delta}{x_{d\Sigma}}, \quad I_d = \frac{E_q^{/} - U \cos \delta}{x_{d\Sigma}^{/}}.$$

əvəz olunan generatorun (EHQ $E^{/}_q$ olan) güc xarakteristikası eynilə aydın qütblü generatorun xarakteristikası kimi alına bilər. Bu ifadələri (10.8) –də yerinə yazsaq aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$P = \frac{E_q^{/} U}{x_{d\Sigma}^{/}} \sin \delta - \frac{U^2}{2} \frac{x_d - x_d^{/}}{x_{d\Sigma} x_{d\Sigma}^{/}} \sin 2\delta. \qquad (10.10)$$

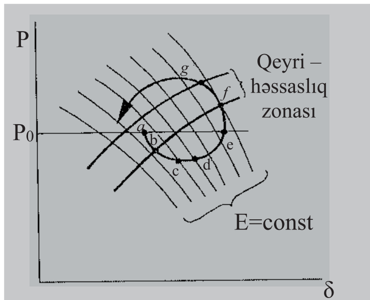
(10.10) ifadəsinə uyğun olan güc xarakteristikası *şək. 10.5*, *b*-də göstərilib.

Əgər PTT qeyri – həssaslıq zonasına malikdirsə* (2.1.7 bəndinə bax), onda kritik rejim δ = 90^0 -də mövcud olan rejim hesab olunur, yəni son hədd gücünə *b* nöqtəsində çatmaq olur (Ş*əkil. 10.5*, *ç*). Belə olan halda, onda δ > 90^0 sahəsində qeyri – həssas zonalı PTT ilə təchiz olunmuş generatorda nə baş verir?

Tənzimləyici, yalnız gərginliyin bu və ya digər tərəfə müəyyən qiymətə qədər dəyişdiyi halda işləməyə başlayır. Qeyri – həssas zonada yerləşən kiçik dəyişmələr zamanı tənzimləyici işləmir.Qeyri-həssaslıq zonasına iki xarici xarakteristika uyğundur (*şəkil 10.6*).

---

* Qeyri – həssaslıq zonası bütün elektromexaniki tipli tənzimləyicilərdə mövcuddur. Hətta müasir tənzimləyicilər də elementlərinin işində müəyyən inersiyaya və gecikmələrə malik olduqlarına görə onlar da qeyri – həssaslığa anaoloji reaksiya verirlər.



Şək.10.6. Qeyri–həssaslıq zonalı PTT ilə təchiz olunmuş generatorun öz – özünə yırğalanması

Fərz edək ki, ilkin verilmiş rejimə *a* nöqtəsi uyğundur. Bucağın artmasına səbəb olan kiçicik şinində gərginlik azalır. Lakin nə qədər ki, dəyişmə qeyri – həssaslıq zonasında yerləşir, tənzimləyici işləmir. Generatorun valında bucağın artması zamanı sürətləndirici izafi moment yaranır ki, bu da onun sürətini artırmaqda davam etdirir və hərəkət trayektoriyası qeyri – həssaslıq zonasını kəsdiyi zaman (*b* nöqtəsi) tənzimləyici işləməyə başlayır.

Təsirlənmə cərəyanının artımı və müvafiq olaraq generatorun EHQ artımı gücün azalmasının yavaşıdır, işçi nöqtəni güc xarakteristikasının EHQ –nin böyük qiymətinə uyğun olan nöqtəsinə (*c*, *d* nöqtələri) sürüşdürür. Güc artıqlığı *e* nöqtəsində yox olur, lakin rotorun öz ətaləti hesabına bucağın bundan sonra da artması davam edir. *f* nöqtəsində bucaq maksimum qiymətinə çatır və bundan sonra azalmağa başlayır. Xarici xarakteristikada yerləşən *g* nöqtəsini keçdikdən sonra tənzimləyici təsirləndiricinin gərginliyini azaltmağa başlayır və gücün dəyişmə əyrisi gücün daxili xarakteristikasını əks istiqamətdə kəsənə gədər bu tənzimləyici təsir edir.

Beləliklə, *daxili qeyri – dayanıqlıq hesabına δ bucağının sönməyən rəqsi yaranır*. Bu rəqslərin amplitudu tənzimləyicinin qeyri – həssaslıq zonasının enindən asılıdır. Bucaqla eyni zamanda generatorun rejim parametləri – gərginliyi, cərəyanı və gücü də rəqsi dəyişir. Bu rəqsi dəyişmələr generatorun işinə nəzarət etməyi çətinləşdirir və oxşar rejimlərdə onun istismar olunmasından imtina etməyə məcbur edir.

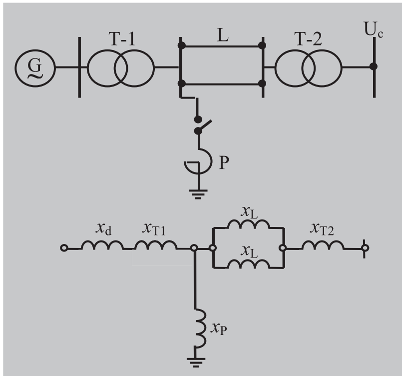
Generatorun $\delta > 90^0$ bucağına uyğun olan bütün nöqtələrində onun dayanıqlı işini təmin etmək təsirlənmənin tənzimləmə sistemini mürəkkəbləşdirir və o, nəinki gərginliyin dəyişməsinə, həm də dəyişmənin sürətinə, həmçinin gərginliyin dəyişməsinin təcilinə də reaksiya verməlidir. Belə tənzimləyicilər *cəldtəsirli tənzimləyicilər* adlanır.

Cəldtəsirli tənzimləyicilər generatorun şinində gərginliyin sabitliyini təmin edir (öz – özünə yırğalanma riski olmadan) ona görə də belə tənzimləyici ilə təchiz olunmuş generatorlar statik dayanıqlığının hesabatında özünün sıxaclarında gərginliyi (U = const) və x_G müqaviməti ilə təqdim oluna bilərlər.

M ə s ə l ə 10.1. Şəkildə göstərilən sistemdə G stansiyası gücünü uzunluğu 220km, gərginliyi 220kV olan elektrik verilişi xətti vasitəsilə özündən kifayət qədər artıq gücü olan sistemə verir.

Elektrik verilişinin və ilkin rejimlərin parametrləri aşağıdakılardır:

$$\mathbf{x}'_{\mathbf{d}} = 0.461, \quad x_{T1} = 0.197, \quad x_L = 0.7,$$



$$x_{T2} = 0.142, \quad P_0 = 0.583,$$

$$\cos\varphi = 0.85, \quad U_C = 1.$$

Aşağıdakı hallarda sistemin dayanıqlığının təyin olunması tələb olunur:

a) TAT qurğusu olmadıqda;
b) proporsional tipli TAT qurğusu olduqda;
c) cəldtəsirli TAT qurğusu olduqda.

Xəttin əvvəlində reaktor $x_r = 20.2$ qoşulduqdan sonra statik dayanıqlığın ehtiyatını müəyyən edin.

H ə l l i. 1. T.AT qurğusunun olmadığı halda ötürülən gücün həddi sinxron EHQ-nin sabit olduğu şərtlə (E_q = const) təyin olunur.

Elektrik verilişinin ümumi müqaviməti

$$x_{d\Sigma} = x_d + x_{T1} + \frac{x_L}{2} + x_{T2} = 2.49.$$

Sinxron EHQ

$$E_q = \sqrt{\left(U_C + \frac{Q_0 x_{d\Sigma}}{U_C}\right)^2 + \left(\frac{P_0 x_{d\Sigma}}{U_C}\right)^2} = 2.39.$$

Ötürülən gücün maxsimal həddi

$$\mathrm{P}_{\max} = \frac{E_q U_C}{x_{d\Sigma}} = 0.96.$$

Statik dayanıqlığın ehtiyat əmsalı

$$k_e = \frac{P_{\max} - P_0}{P_0} = 0.65$$

11. Generatorda proporsional tipli TAT quraşdırıldıqda ötürülən güc həddini və dayanıqlığı keçid müqavimətindən sonra EHQ –nin sabitliyi ($E^{/}$ = const) şərtindən təqribi təyin etmək olar. Bu halda statik dayanıqlığın ehtiyat əmsalı k_e =1.34 -ə bərabərdir.

12. Cəldtəsirli TAT-lar köklənmələrindən asılı olaraq ya generatorun çıxışlarında, ya da xəttin əvvəlində gərginliyin sabitliyini təmin edir. U_G = const qəbul edərək dayanıqlıq həddini təyin edək.

Elektrik verilişinin ümumi müqaviməti

$$\mathrm{x}_{\Sigma} = x_{T1} + \frac{x_1}{2} + x_{T2} = 0.689.$$

Generatorun çıxışlarında gərginlik

$$U_{\mathrm{G}} = \sqrt{\left(U_C + \frac{Q_0 x_{\Sigma}}{U_C}\right)^2 + \left(\frac{P_0 x_{\Sigma}}{U_C}\right)^2} = 1.31.$$

Ötürülən gücün maksimal həddi

$$\mathrm{P}_{\max} = \frac{\mathrm{U}_G U_C}{x_{\Sigma}} = 1.9.$$

Statik dayanıqlığın ehtiyat əmsalı

$$k_e = \frac{P_{\max} - P_0}{P_0} = 2.26.$$

Hesabatların nəticələrinin müqayisəsindən görünür ki, proporsional tipli TAT olan hal tənzimlənmənin olmadığı hala nisbətən statik dayanıqlığın ehtiyatını 59%, cəldtəsirli TAT isə 248 % artırır. Ötürülən güc həddinin artması onunla əlaqədardır

ki, TAT tamamilə (cəldtəsirli TAT) yaxud qismən (proporsional tipli TAT) generatorun məxsusi müqavimətinin ötürdüyü gücün həddinə təsirini aradan qaldırır.

Reaktor qoşulduqdan sonra statik dayanıqlığın şərtinə görə elektrik verilişinin maksimal güc həddini aşağıdakı formul ilə təyin etmək olar:

$$\mathrm{P}_{\max} = \mathrm{y}_{12} E_q U_C ,$$

burada

$$\frac{1}{y_{12}} = x_d + x_{T1} + \frac{x_1}{2} + x_{T2} + \frac{(x_d + x_{T1})(x_L/2 + x_{T2})}{x_r}.$$

Göstərilən ifadədə sistemin və rejimin parametrlərini yerinə yazaraq $1/y_{12} = 2.54$ və $P_{max} = 0.98$ buradan statik dayanıqlığın ehtiyat əmsalını $k_e = 0.68$ alarıq.

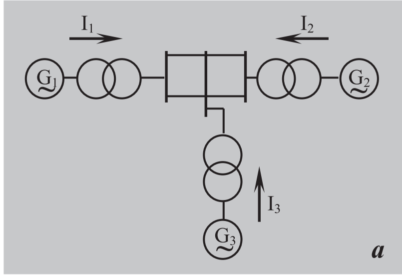
Beləliklə, xəttin əvvəlinə qoşulan şuntlayıcı reaktor statik dayanıqlığın ehtiyatının 3% artmasına səbəb olur. Ehtiyatın artması generatorun reaktiv yükünün artması səbəbindən EHQ –nin artması ilə əlaqədardır.

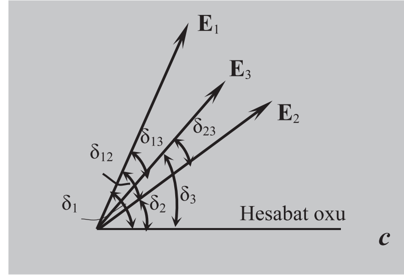
Generatorlarda proporsional tipli TAT qurğusu qoşulan halda reaktorun yaratdığı reaktiv yükün artmasından alınan müsbət effekt az ola bilər, lakin xəttin əvvəlində gərginliyi sabit saxlayan cəldtəsirli TAT qurğusu olduqda reaktorun qoşulması ötürülən güc həddinin dəyişməsinə təsir etməyəcək.

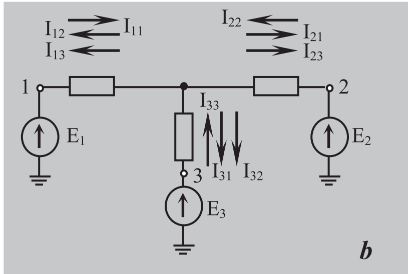
10.5. GENERATORUN SİSTEMLƏ ƏLAQƏSİNİN MÜRƏKKƏB OLAN HALI ÜÇÜN GÜC XARAKTERİSTİKASI

Mürəkkəb elektrik sistemində (tərkibində bir neçə elektrik stansiyası olan sistemdə) hər bir stansiyanın sistemə verdiyi güc (ekvivalent generatorun) sistemin bütün generatorlarının EHQ-lərinin modullarından və fazalarının sürüşməsindən asılıdır. *Şəkil 10.7*-də təsvir olunmuş elektrik sistemi üçün birinci stansiyanın sistemə verdiyi gücü ifadə edək. Bunun üçün toplama (cəmlənmə, üstünə qoyma, qondarma) prinsipindən istifadə edək. Bu prinsipə görə generatorun dolağından axan cərəyana üç cərəyanın toplanmasının nəticəsi kimi baxmaq olar. Sistemin əvəz sxemində (*Şəkil 10 b*) I_{11} cərəyanı elə bir cərəyandır ki, yalnız digər generatorların EHQ-ləri sıfıra bərabər olduqda və eyni zamanda bu generatorların dolaqlarından keçən dövrə yerlə qapalı qaldıqda generatorun dolağından axır. İkinci cərəyan I_{12} cərəyanı , *1* və *3*-cü

generatorların EHQ-ləri qısa qapanmış olduğu halda, 2-ci generatorun EHQ-si ilə yaranır. I_{13} cərəyanı, *1* və *2*-ci generatorlarının EHQ-ləri qısaqapanmış olduğu halda, 3-cü generatorunun EHQ -si ilə yaranır.







Şək. 10.7. Generatorun sistemlə əlaqəsinin mürəkkəb olan halında gücünün təyini üçün:
a – sistemin prinsipial sxemi; b – əvəz sxemi; c – sistemin EHQ vektorlarının qarşılıqlı yerləşməsi

Baxılan üç rejimin cərəyanlarını bir – birinin üstünə qoyaraq birinci generatorun dövrəsindən axan cərəyanı alarıq (*şək. 10.7*, *b*)

$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{I}_{11} - \mathbf{I}_{12} - \mathrm{I}_{13}.$$

Tam cərəyanın mürəkkəbələri müvafiq EHQ-lərə mütənasibdir. EHQ və cərəyan arasındakı mütənasiblik əmsalı şəbəkənin konfiqurasiyasından və onun ayrı – ayrı budaqlanmalarının müqavimətindən asılıdır və dövrənin *məxsüsi və qarşılıqlı keçiriciliyi* adlanır. Mürəkkəbələr üçün ifadə aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\mathbf{I}_{11} = \mathbf{E}_1\mathbf{Y}_{11},\ \ \mathbf{I}_{12} = \mathbf{E}_2\mathbf{Y}_{12},\ \ \mathbf{I}_{13} = \mathbf{E}_3\mathbf{Y}_{13}. \tag{10.11}$$

Burada $\mathbf{Y}_{11}$ – məxsusi keçiricilik;

$\mathbf{Y}_{12}$, $\mathbf{Y}_{13}$ – şəbəkənin qarşılıqlı keçiriciliyidir.

Birinci generatorun tam cərəyanı, (10.11) ifadəsi nəzərə alınmaqla aşağıdakı şəkildə olur:

$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{E}_1\mathbf{Y}_{11} - \mathbf{E}_2\mathbf{Y}_{12} - \mathbf{E}_3\mathbf{Y}_{13}.$$

Gücün kompleks qiyməti cərəyanın əlaqəli kompleksinin müvafiq EHQ-ləri kompleksinə hasili ilə təyin olunur (Əlavə 4-ə bax):

$$\mathbf{S}_1 = \mathbf{E}_1\widehat{\mathbf{E}}_1\widehat{\mathbf{Y}}_{11} = \mathbf{E}_1\widehat{\mathbf{E}}_2\widehat{\mathbf{Y}}_{12} - \mathbf{E}_1\widehat{\mathbf{E}}_3\widehat{\mathbf{Y}}_{13}. \qquad (10.12)$$

Əgər $\mathbf{E}_1$, $\mathbf{E}_2$, $\mathbf{E}_3$ EHQ-lərinin ixtiyarı oxa nəzərən hesablanan faza bucaqlarını δ_1, δ_2, δ_3 ilə, bucaqların aşağıda verilən məxsusi və qarşılıqlı kompleks

$$Z_{11} = 1/Y_{11}, \quad Z_{12} = 1/Y_{12}, \quad Z_{13} = 1/Y_{13}$$

müqavimətlərinin arqumentlərini Ψ_{11}, Ψ_{12}, Ψ_{13} ilə işarə etsək, onda (10.12) ifadəsini aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

$$S_1 = E_1e^{j\delta_1}E_1e^{-j\delta_1}Y_{11}e^{j\Psi_{11}} - E_1e^{j\delta_1}E_2e^{-j\delta_2}Y_{12}e^{j\Psi_{12}} -$$
$$- E_1e^{j\delta_1}E_3e^{-j\delta_3}Y_{13}e^{j\Psi_{13}} =$$
$$= E_1^2Y_{11}e^{j\Psi_{11}} - E_1E_2Y_{12}e^{j(\delta_{12}+\Psi_{12})} - E_1E_3Y_{13}e^{j(\delta_{13}+\Psi_{13})},$$

burada $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$, $\delta_{13} = \delta_1 - \delta_3$ – *1* və *2*-ci , həmçinin *1* və *3*-cü generatorların EHQ vektorları arasındakı bucaqlardır.

Kompleks qiymətlərdən triqonometrik formaya keçsək aşağıdakıları alarıq:

$$S = E_1^2 Y_{11}\left(\cos\Psi_{11} + j\sin\Psi_{11}\right) -$$
$$- E_1 E_2 Y_{12}\left[\cos\left(\delta_{12} + \Psi_{12}\right) + j\sin\left(\delta_{12} + \Psi_{12}\right)\right] -$$
$$- E_1 E_3 Y_{13}\left[\cos\left(\delta_{13} + \Psi_{13}\right) + j\sin\left(\delta_{13} + \Psi_{13}\right)\right].$$

Bu ifadənin həqiqi hissəsi generatorun verdiyi aktiv gücdür:

$$P_1 = E_1^2 Y_{11}\cos\Psi_{11} - E_1 E_2 Y_{12}\cos\left(\delta_{12} + \Psi_{12}\right) - - E_1 E_3 Y_{13}\cos\left(\delta_{13} + \Psi_{13}\right). \quad (10.13)$$

Əgər Ψ arqumentləri əvəzinə onları 90^0 –yə qədər tamamlayan $\alpha = 90^0 - \Psi$ arqumentini daxil etsək və $\cos(90^0 - \alpha) = -\sin\alpha$ (10.13) ifadəsi aşağıdakı şəkildə yazıla bilər:

$$P_1 = E_1^2 Y_{11}\sin\alpha_{11} + E_1 E_2 Y_{12}\sin\left(\delta_{12} - \alpha_{12}\right) + + E_1 E_3 Y_{13}\sin\left(\delta_{13} - \alpha_{13}\right).$$

(10.14)

(10.14) ifadəsi generatorun gücünü EHQ-dən, EHQ-lərin aralanma bucaqlarından, həmçinin məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliklərindən asılı olaraq təyin etməyə imkan verir. Bu ifadə istənilən sayda generatorlar üçün ümumiləşdirilə bilər:

$$P_1 = E_1^2 Y_{11}\sin\alpha_{11} + E_1 E_2 Y_{12}\sin\left(\delta_{12} - \alpha_{12}\right) + \ldots + E_1 E_n Y_{1n}\sin\left(\delta_{1n} - \alpha_{1n}\right).$$

Analoji şəkildə sistemin istənilən generatorunun gücünü almaq olar. (n–1) generatoru üçün:

$$P_{n-1} = E_{(n-1)} E_1 Y_{(n-1)1}\sin\left(\delta_{(n-1)1} - \alpha_{(n-2)1}\right) +$$
$$+ E_{(n-1)} E_2 Y_{(n-1)2}\sin\left(\delta_{(n-1)2} - \alpha_{(n-2)2}\right) + \ldots + E_{(n-1)}^2 Y_{(n-1)(n-1)}\sin\alpha_{(n-1)(n-1)} +$$
$$+ E_{(n-1)} E_n Y_{(n-1)n}\sin\left(\delta_{(n-1)n} - \alpha_{(n-2)n}\right).$$

n-inci generator üçün

$$P_n = E_n E_1 Y_{n1} \sin(\delta_{n1} - \alpha_{n1}) + E_n E_2 Y_{n2} \sin(\delta_{n2} - \alpha_{n2}) + ... + E_n^2 Y_{nn} \sin \alpha_{nn}.$$

Alınmış formullardan görünür ki, generatorun sistemə verdiyi gücü hesablamaq üçün sistemin bütün generatorlarının EHQ-ləri və onların arqumentləri, həmçinin məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliklərinin kompleks qiymətini bilmək lazımdır. EHQ –lərin modulu və arqumentləri baxılan keçid rejimindən əvvəlki normal rejimin parametrləri kimi hesablanır. Məxsusi və qarşılıqlı keçiricilikləri hesablamaq üçün əlavə hesabatın aparılması zəruridir.

10.6. MƏXSUSİ VƏ QARŞILIQLI KEÇİRİCİLİKLƏRİN HESABATI

Məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliklərin hesabatının bir neçə metodu məlumdur.

1. *Şəbəkənin çevrilmə metodu* sistemin əvəz sxeminin dioqanalı və düyün nöqtələrində müqavimət yükü olan çoxbucaqlıya gətirilməsinə əsaslanır. Çevrilmə prosesində məlum olan çevrilmə metodlarının istənilən birindən istifadə oluna bilər:

– uçşüalı ulduzun üçbucağa və əksinə çevrilməsi;
– çoxbucaqlı ulduzun ekvivalent çoxbucaqlı ilə əvəz olunması;
– bucaqların müqavimətlərinin ardıcıl və paralel toplanması;
– yükün qonşu qovşaqlara köçürülməsi;
– şəbəkənin bölünməsi və s.

Sonuncu çoxbucaqlıda tərəflərin və dioqanalların müqavimətləri qarşılıqlı müqavimətlərdir. İşarələnmədə indekslər müqavimətlərin qoşulduğu qovşaqların nömrəsinə uyğun olur. Qarşılıqlı keçiricilklər təyin olunmuş müqavimətlərin tərs qiyməti kimi təyin olunur. Budaqların məxsusi keçiricilikləri aşağıdakı kimi hesablanır:

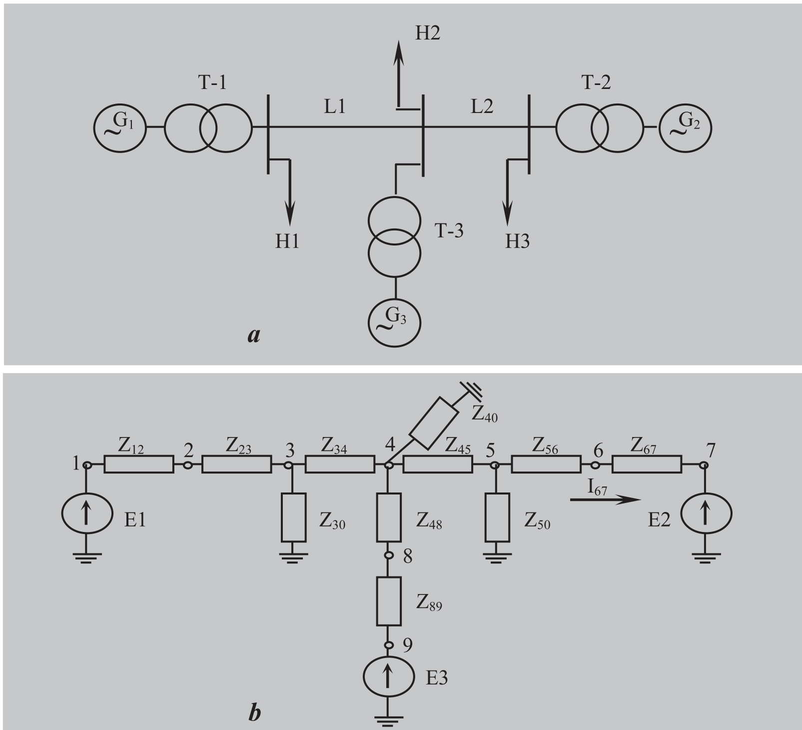
$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^{n} Y_{ij}.$$

Şəbəkənin çevrilmə metodunun çatışmayan cəhəti ümumi hesabat alqoritminin alınmsının mümkün olmamasıdır və o kifayət qədər sadə sxemlərdə istifadə olunur.

2. *Vahid cərəyanlar metodu da* nisbətən sadə sxemlərdə istifadə olunur. Sxemi *şəkil 10.8*-də göstərilən sistemə baxaq. Fərz edək ki, E_2 və E_3 EHQ-lər qısa qapanmışdır. *6 – 7* dövrəsində cərəyanı vahidə bərabər qəbul edərək (metodun adı buradan götürülmüşdür), bir E_1 EHQ-li sxemin elektrik hesabatını yerinə yetirək:

5-ci düyün nöqtəsindəki gərginlik

$$\mathbf{U}_5 = \mathbf{I}_{67}\left(\mathbf{Z}_{56} - \mathbf{Z}_{67}\right).$$



Şək. 10.8. Vahid cərəyanlar metodu ilə məxsusi və qarşılıqlı müqavimətlərin təyini üçün: a – prinsipial sxemi; b – əvəz sxemi

4 – 5 budağındakı cərəyan

$$\mathbf{I}_{45} = \mathbf{I}_{67} + \mathbf{U}_5 / \mathbf{Z}_{50}.$$

4 -cü düyün nöqtəsindəki gərginlik

$$\mathbf{U}_4 = \mathbf{U}_5 + \mathbf{I}_{45}\mathbf{Z}_{45}.$$

3 – 4 budağındakı cərəyan

$$\mathbf{I}_{34} = \mathbf{I}_{45} + \mathbf{U}_4 / \mathbf{Z}_{40} + \mathbf{U}_4 / (\mathbf{Z}_{48} + \mathbf{Z}_{89}).$$

3 -cü düyün nöqtəsindəki gərginlik

$$\mathbf{U}_3 = \mathbf{U}_4 + \mathbf{I}_{34} / \mathbf{Z}_{34}.$$

1 – 3 budağındakı cərəyan

$$\mathbf{I}_{13} = \mathbf{I}_{34} + (\mathbf{U}_3 / \mathbf{Z}_{30}).$$

E_1 EHQ

$$\mathbf{E}_1 = \mathbf{U}_3 + \mathbf{I}_{13}(\mathbf{Z}_{12} + \mathbf{Z}_{23}).$$

Rejimin alınmış parametrləri aşağıdakıları təyin etməyə imkan verir:
birinci stansiyanın məxsusi keçiriciliyini

$$\mathbf{Y}_{11} = \mathbf{I}_{13} / \mathbf{E}_1$$

və qarşılıqlı keçiricilikləri

$$\mathbf{Y}_{12} = \mathrm{I}_{67} / \mathbf{E}_1,$$

$$\mathbf{Y}_{13} = \frac{\mathbf{I}_{89}}{\mathbf{E}_1} \frac{\mathbf{U}_4}{(\mathbf{Z}_{48} + \mathbf{Z}_{89})\mathbf{E}_1}.$$

Analoji hesabatları E_1 və E_3 EHQ –lərinin, həmçinin E_1 və E_2 EHQ – lərinin qapanmış halı üçün apararaq sxemin digər məxsusi və qarşılıqlı keçiriciklərini alarıq.

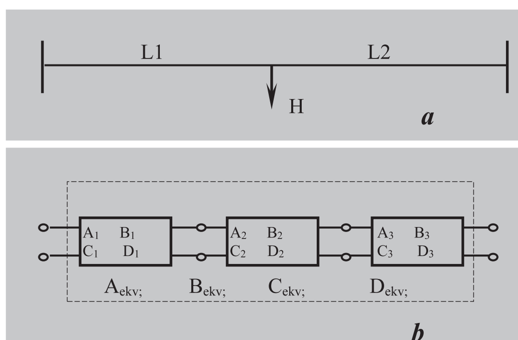
3.*Ekvivalent dördqütblü metod* baxılan sxemin hər bir elementini sabitlərinin qiyməti məlumolan dördqütblü şəkildə təqdim olunmasına isti-
qamətlənmişdir. Məsələn, *şək. 10.9*-da elektrik sistemin bir hissəsi, sabit müqavimətlə əvəz olunmuş iki elektrik veriliş xətti və yük verilmişdir. Xəttin sabitləri aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\mathbf{A}_L = \mathbf{D}_L = sh\,\gamma_0 l \cong \cos\alpha_0 l, \quad \mathbf{B}_L = \mathbf{Z}_C = sh\,\gamma_0 l \cong j\mathbf{Z}_C \sin\alpha_0 l,$$

$$\mathbf{C}_X = \frac{sh\gamma_0 l}{\mathbf{Z}_C} \cong j\frac{\sin\alpha_0 l}{\mathbf{Z}_C},$$

burada $\mathbf{Z}_\mathbf{C} = \sqrt{\mathbf{Z}_0/\mathbf{Y}_\mathbf{0}}$ – xəttin $\mathbf{Z}_0 = r_0 + jx_0$ uzununa müqavimətinin $\mathbf{Y}_0 = g_0 + jb_0$ – eninə keçiriciliyinin uzunluq ölçülü dalğa müqavimətidir;

$\gamma_0 = \beta_0 + \gamma\alpha_0 = \sqrt{\mathbf{Z}_0\mathbf{Y}_0}$ dalğanın yayılma əmsalıdır.



Şək. 10.9. Sistemin bir hissəsinin dördqütblü ilə əvəz olunması:
a – sistemin prinsipial sxemi;
b – dördqütblü əsasında çevrilmiş

Sabit yüklər

$$\mathbf{A}_{\mathbf{Y}} = \mathbf{D}_{Y} = 1, \quad \mathbf{B}_{Y} = 0, \quad \mathbf{C}_{Y} = \frac{1}{\mathbf{Z}_{Y}}.$$

Kaskad şəklində birləşdirilmiş iki dördqütblünün ekvivalent sabitləri birinci və ikinci dördqütblərin sabitlərindən tərtib olunmuş kvadrat matrislərin bir – birinə vurulması ilə təyin olunur:

$$\begin{vmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{C} & \mathbf{D} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \mathbf{A}_1 & \mathbf{B}_1 \\ \mathbf{C}_1 & \mathbf{D}_1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \mathbf{A}_2 & \mathbf{B}_2 \\ \mathbf{C}_2 & \mathbf{D}_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \mathbf{A}_1\mathbf{A}_2 + \mathbf{B}_1\mathbf{C}_2 & \mathbf{A}_1\mathbf{B}_2 + \mathbf{B}_1\mathbf{D}_2 \\ \mathbf{A}_2\mathbf{C}_1 + \mathbf{D}_1\mathbf{C}_2 & \mathbf{B}_2\mathbf{C}_1 + \mathbf{D}_1\mathbf{D}_2 \end{vmatrix}.$$

Beləliklə,

$$\mathbf{A}_{ekv} = \mathbf{A}\mathbf{A}_3 + \mathbf{B}\mathbf{C}_3, \quad \mathbf{B}_{ekv} = \mathbf{A}\mathbf{B}_3 + \mathbf{B}\mathbf{D}_3,$$
$$\mathbf{C}_{ekv} = \mathbf{A}_3\mathbf{C} + \mathbf{C}_3\mathbf{D}, \quad \mathbf{D}_{ekv} = \mathbf{B}_3\mathbf{C} + \mathbf{D}\mathbf{D}_3.$$

Analoji çevirməni paralel birləşdirilmiş dördqütblü üçün də yerinə yetirmək olar. Məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliklər ekvivalent dördqütblünün sabitləri vasitəsilə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\Psi_{11} = \frac{\mathbf{D}_{ekv}}{\mathbf{B}_{ekv}}, \quad \mathbf{Y}_{22} = \frac{\mathbf{A}_{ekv}}{\mathbf{B}_{ekv}}, \quad \mathbf{Y}_{12} = \frac{1}{\mathbf{B}_{ekv}}.$$

Mürəkkəb sxemlərin bəzi elementlərinin parametrləri dəyişən zaman məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliklərin təyin olunması tələb olunduqda əvəz sxeminin iki hissəyə bölünməsindən istifadə olunur. Bu hissələrdən birinin tərkibində parametrləri dəyişilmiş element olmur və onun hər bir keçiriciliyinin yalnız yeganə bir qiyməti olur. İkinci hissə məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliyin bir sıra qiymətləri ilə xarakterizə olunur. Bütün sxemin məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliyi [4] -də verilən metodika üzrə təyin olunur.

10.7. MÜRƏKKƏB SİSTEMLƏRİN STATİK DAYANIQLIĞI

Mürəkkəb sistemlərin *statik dayanıqlığı problemi* hələ ki, müasir sistemlərin praktiki dayanıqlıq hesablamalarının aparılmasını kifayyət qədər mürəkkəbləşdirən prinsipial momentlərdən (*yüklərin modelləşdirilməsi, inersiya sabiti və tezliyin dəyişməsinin təsiri, özünəyırğalanmanın və elektromaqnit KP-nin təsiri və s*) təcrid edilməmişdir. Problemin ciddi tədqiqat metodunun olmaması, mövcud kriterilərin həqiqi nəticələrə yaxınlıq dərəcəsini müəyyən etməyə imkan vermir.

Hazırda, mürəkkəb sistemlərin statik dayanıqlığını müxtəlif üsullarla qiymətləndirmək olar.

1. Müəyyən, yol verilən sadələşdirilmələr qəbul olunduğu halda praktiki kriterilərin köməyi ilə qiymətləndirmə. İki müqayisə oluna güclü maşınlı sistemlərdə statik dayanıqlığın təmin olunması şərtinə görə, uzaqda yeləşən stansiyanın həqiqi güc hədd rejiminin təyin olunması anlamına gətirir. Lakin, aydındır ki, uzaqda yerləşən birinci stansıyanın güc xarakteristikasının analizi statik dayanıqlığın təmin olunması şərtlərinə təqribi cavab verir və sinxronlaşdırıcı gücün "+" işarəli olması (baxmayaraq ki, bəzi hesabatlarda özünü doğruldur) təqribi yanaşma hesab olunmalıdır. Belə ki, mürəkkəb sistemlərdə çox saylı sinxron generatorların olması rotorların yerdəyişmə xarakterinə məhdudiyyətlər qoyur:
   - Hər-hansı generatorun sinxronlaşdırıcı gücünü hesbalyarkən digər bütün generatorların bucaqları dəyişməz qalır. Bu halda sistemin bütün generatorlarının gücləri dəyişir;
   - Sistemin yalnız iki generatorunun gücünün dəyişməsi qəbul olunur. Bu halda bucaqların dəyişməsi elədir ki, bütün digər generatorların gücləri sabit qalır.

Qeyd olunanan məhdudiyyətlərin hər birinin qəbul olunması stansiyaların inersiya sabitlərinin müəyyən qiymətlərində mümkün ola bilər. Eyni zamanda zaman sabitlərinin statik dayanıqlığa təsirinin nəzərə alınması mümkünsüzdür (Vaqner və Evans iki

maşınlı sistemlər üçün belə təsiri araşdırıb). Bu baxımdan, praktik dayanıqlıq metodlarının tətbiqi və qəbulolunan sadələşmələrin buraxılabilən olmasını anlamaq üçün statik dayanıqlığın həqiqi kriterilərini təhlil etmək vacibdir.

2. Məsələnin daha tam və əhatəli həllini və yuxarıda qeyd olunan suallaraın cavablandırılmasını, ilkin rejimin kiçik həyəcanlanmasından sonra yaranan sərbəst rəqslərinin xarakterinin tədqiqinə əsaslanan kiçik rəqslər metodunun köməyi ilə əldə etmək olar.Mxtəlif texniki məsələlərin tarazlıq halının və ya qəraqlaşmış hərəkətinin dayanıqlığının tədqiqində kiçik rəqslər metodundan istifadə edlir. Bu metodun əsaslarını növbəti formada ifadə etmək olar: İklin vəziyyətin kiçik həyacanlanmasını qəbul edərək, sisitemin hərəkətinin differensial bərabərliyini tərtib edir və yaranmış sərbəst rəqslərin xarakterini tədqiq edirlər.

Sistemdə təsir edən qüvvə və ya momentlərin koordinat və surətdən asılılığı çox hallarda qeyri-xətti xarakterli olur. Bunu, xüsusi halda baxılan elektroenergetika sistemləri üçün gücün bucaqdan sinusoidal xarakterli dəyişməsinə həvalə etmək olar.

Kiçik meyletmə halında sərbəst rəqsləri təsvir edən differensial bərabərlikləri sabit əmsallı differensial bərabərliyə gətirmək imkanı yaranır.

Yada salmaq yerinə düşər ki, A. M. Lyapunovun apardığı tədqiqatlara görə qeyri-xəttiliyin nəzərə alınmaması bəzi istisnalar nəzərə alınmaqla, kiçik rəqslər metodu statik dayanıqlıq mənasında, dayanıqlığın qiymətləndirilməsinin praktiki tətbiqndə əhəmiyyətli hesab olunmur və hesablamanın nəticələrinə böyük xəta əlavə etmir.

10.7.1 Kiçik rəqslər metodu

Kişik rəqslər metodunun əsasları müxtəlif texniki sistemlərin hərəkətin tarazlıq halının və qərarlaşmış rejimlərinin dayanıqlığının tədqiqində geniş istifadə olunur. Metodun fəlsəfəsinə görə, ilkin rejimin kiçik həyacalanmalrını qəbul edərək, sistemin hərəkətinin differensial bərbərliyi tərtib olunur və yaranan sərbəst rəqslərin xarakteri araşdırılır.

Məlumdur ki, sistemə təsir edən moment və qüvvənin koordinat və surətdən asıllığı əksər hallarda qeyri - xəttidir. Xüsusi halda, buna EES-də güc və bucaq arasında sinusoidal asılılığını göstərmək olar.

Kiçik rəqslər metodu sxemi *şəkil 10.1*, *a*-da göstərilən elementar sistemin, generatorun – sonsuz güclü şininin (SGŞ), statik dayanıqlığının analizi üçün tətbiq olunur. Kiçik həyəcanlanmalar zamanı generatorun rotorunun hərəkəti (10.7) tənliyi ilə təsvir edilir. Bu tənliyin sağ tərəfi qeyri – xətti olduğuna görə onun analitik həlli yoxdur. Lakin müvazinət vəziyyətindən kiçik meylətmə (Δδ) zamanı bu tənliyi sabit əmsallı diferensial tənlik şəklinə gətirməklə onu xəttiləşdirmək mümkün olur. Bu məqsədlə, $\Delta \mathrm{P} = \mathrm{P}_0 - P_m \sin\delta$ funksiyasını δ_0 sahəsində (oblastında) Teylor sırasına ayıraraq aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\Delta P = P_0 - P_{\max}\sin\delta =$$

$$= P_0 - P_{\max}\sin\delta_0 - \left(\frac{dP}{d\delta}\right)_{\delta=\delta_0}\Delta\delta - \frac{1}{2!}\left(\frac{d^2P}{d\delta^2}\right)_{\delta=\delta_0}\Delta\delta^2 - \ldots,$$

burada $\Delta\delta = \delta - \delta_0$ – ilkin qiymətindən bucağın kiçik meyletməsidir. Δδ –nın kiçik qiymətlərində onun birincidən yüksək olan tərtibini nəzərə almamaq olar. Bu o deməkdir ki, güc xarakteristikasını δ_0 oblastında düz xətlə əvəz etmək olar. Həmçinin, $\mathrm{P}_0 = P_{\max}\sin\delta$ nəzərə alaraq aşağıdakını yaza bilərik:

$$\Delta P = -\left(\frac{dP}{d\delta}\right)_{\delta=\delta_0}\Delta\delta. \qquad (10.15)$$

Burada, $\delta = \delta_0 + \Delta\delta$ və δ_0 – sabit kəmiyyət olduğundan növbəti ifadəni alırıq:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d^2(\delta_0 + \Delta\delta)}{dt^2} = \frac{d^2\Delta\delta}{dt^2}. \qquad (10.16)$$

(10.15) və (10.16) bərabərliklərini (10.6) ifadəsində yerinə yazsaq sadə xətti diferensial tənlik alarıq:

$$\frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} + \frac{1}{T_j}\frac{dP}{d\delta}\Delta\delta = 0.$$

Bu tənliyin həlli aşağıdakı məlum ifadəyə müvafiq olaraq Δδ-nin zamana görə dəyişməsidir:

$$\Delta\delta = K_1 e^{P_1 t} + K_2 e^{P_2 t},$$

burada p_1 və p_2 $p^2 + \frac{1}{T_j}\frac{dP}{d\delta} = 0$ tənliyinin xarakterik kökləridir və aşağıdakı kimi təyin olunur:

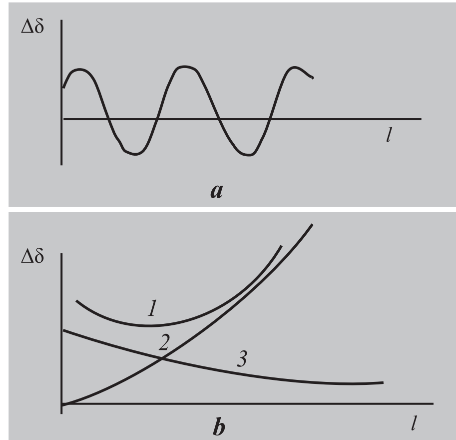
$$p_{1.2} = \pm\sqrt{-\frac{1}{T_j}\frac{dP}{d\delta}} = \pm j\sqrt{\frac{1}{T_j}\frac{dP}{d\delta}}.$$

Tənliyin kökləri $dP/\ d\delta > 0$ olduqda tam xəyali və ya $dP/\ d\delta < 0$ olduqda isə tamamilə həqiqi ədəd alınır. Xəyali köklər olduqda $p_{1,2} = \pm j\omega$,
burada $\omega = \sqrt{(1/T_j)(dP/d\delta)}$, xarakteristik tənliyin həlli aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$\Delta\delta = K_1 e^{j\omega t} + K_2 e^{-j\omega t} = C_1 \sin\omega t + C_2 \cos\omega t = C \sin\omega t.$$

Bu ifadəyə uyğun olaraq bucağın dəyişməsi δ ətrafında sönməyən rəqslər qanunu üzrə baş verir (*şək. 10.10*, *a*). İtki nəzərə alındıqda rəqsin xarakteri sönən olur. Başlanğıc vəziyyətin pozulmasından bir müddət sonra ilkin vəziyyət bərpa olunur. Sistem bu halda dayanıqlı olur.

Əgər xarakteristik tənliyin kökləri həqiqidirsə ($p_{1,2} = \pm p$), onda bucağın dəyişməsi aperiodik xarakterli olur (*şək.10.10, b*). Müsbət həqiqi kökün olması Δδ-nin artmasına gətirib çıxarır, bucaq fasiləsiz artır və sistem dayanıqsız olur. Buna görə də dayanıqlığın əvvəllər müəyyən olunmuş zəruri və kafi şərti dP/ dδ > 0, yəni sinxronlaşdırıcı gücün işarəsinin müsbət olmasıdır.



Şək. 10.10 Kiçik həyacanlanmlardan bucağın dəyişməsi:
a – xəyali köklər ($k_1e^{j\omega l}+k_2e^{-j\omega l}$);
b – həqiqi köklər (Δδ– əyri 1, k_1e^{pt} – əyri 2, k_2e^{-pt} – əyri 3)

Beləliklə, kiçik rəqslər metodu generatorun rotorunun hərəkət tənliyinin xəttiliyini, xarakteristik tənliyin alınmasını və bu tənliyin köklərinin analizini tələb edir.

10.7.2. Mürəkkəb sistemlərin statik dayanıqlığının analizi üçün kiçik rəqslər metodunun tətbiqi

Fərz edək ki, tərkibində bir neçə elektrik stansiyası və yüklər olan mürəkkəb elektrik sistemində bütün yüklər sabit müqavimətlərdə verilibdir. Bu halda generatorların gücü hesablama sxeminin məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliyi vasitəsilə asan ifadə olunur:

$$\left.\begin{aligned}
P_1 &= E_1^2 Y_{11}\sin\alpha_{11} + E_1E_2Y_{12}\sin(\delta_{12}-\alpha_{12}) + E_1E_3Y_{13}\sin(\delta_{13}-\alpha_{13}) + \ldots \\
P_2 &= E_2E_1Y_{21}\sin(\delta_{21}-\alpha_{21}) + E_2^2Y_{22}\sin\alpha_{22} + E_2E_3Y_{23}\sin(\delta_{23}-\alpha_{23}) + \ldots \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
P_n &= E_nE_1Y_{n1}\sin(\delta_{n1}-\alpha_{n1}) + E_nE_2Y_{n2}\sin(\delta_{n2}-\alpha_{n2}) + \ldots + E_n^2Y_{nn}\sin\alpha_{nn} +
\end{aligned}\right\}.$$
(10.17)

Burada, $\delta_{12} = -\,\delta_{21} = \delta_1 - \delta_2;\ \delta_{23} = -\,\delta_{32} = \delta_2 - \delta_3$ və s. - EHQ-nin nisbi sürüşmə bucaqları, ixtiyarı seçilmiş sinxron fırlanan oxa nisbətən hesablanan mütləq bucaqların fərqi kimi təyin olunur (*şək. 10.11*).

$\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{13}, \ldots \alpha_{n1}, \alpha_{n2}, \alpha_{nn}$ – budaqların kompleks məxsusi və qarşılıqlı bucaqlarının 90 kimi tamamlayan, adətən "+" işarəli bucaqlardır, bəzi hallarda "-" işarəli ola bilər.

Şək. 10.11. Qarşılıqlı bucaqların təyini

Əgər sistemdə generatorların sayı *N*-ə bərabərdirsə, onda (10.17)-də sərbəst dəyişənlərin sayı $N - 1$ nisbi bucaqlardır. Generatorların sistemə verdiyi güc $N - 1$ sərbəst dəyişənlərin (asılı olmayan) funksiyasıdır və ümumi halda aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\left.\begin{aligned}
P_1 &= P_1(\delta_{12}, \delta_{13} \ldots \delta_{1n}) \\
P_2 &= P_2(\delta_{12}, \delta_{13} \ldots \delta_{1n}) \\
P_n &= P_n(\delta_{12}, \delta_{13} \ldots \delta_{1n})
\end{aligned}\right\}. \qquad (10.18)$$

(10.18) sistemində P_1, P_2, ... , P_n – funksiyaları (10.17)-dən hər bir bərabərlikdə bütün nisbi bucaqları $\delta_{12}, \delta_{13}, \ldots, \delta_{1n}$ qiymətləri ilə əvəz etdikdən sonra təyin olunur.

Sistemin qərarlaşmış rejimi pozulduqda generatorların yırğalanması baş verir. Rotorlarda yırğalanmanın xarakteri aşağıdakı diferensial tənliklərlə təyin olunur:

$$\left.\begin{aligned} T_{j1}\frac{d^2\delta_1}{dt^2} &= P_{10} - P_1(\delta_{12}, \delta_{13}, ..., \delta_{1n}) \\ T_{j2}\frac{d^2\delta_2}{dt^2} &= P_{20} - P_2(\delta_{12}, \delta_{13}, ..., \delta_{1n}) \\ T_{jn}\frac{d^2\delta_n}{dt^2} &= P_{n0} - P_n(\delta_{12}, \delta_{13}, ..., \delta_{1n}) \end{aligned}\right\}. \qquad (10.19)$$

Elementar sistemdə olduğu kimi, burada da (10.19) ifadəsinin sağ tərəfini Teylor sırasına ayırmaq olar:

$$\left.\begin{aligned} & P_{10} - P_1(\delta_{12}, \delta_{13}, ..., \delta_{1n}) = \\ & = P_{10} - \left(P_{10} + \frac{dP_1}{d\delta_{12}}\Delta\delta_{12} + \frac{dP_1}{d\delta_{13}}\Delta\delta_{13} + ... + \frac{dP_1}{d\delta_{1n}}\Delta\delta_{1n} + ... \right) \\ & P_{20} - P_2(\delta_{12}, \delta_{13}, ..., \delta_{1n}) = \\ & = P_{20} - \left(P_{20} + \frac{dP_2}{d\delta_{12}}\Delta\delta_{12} + \frac{dP_2}{d\delta_{12}}\Delta\delta_{13} + ... + \frac{dP_2}{d\delta_{1n}}\Delta\delta_{1n} + ... \right) \\ & .... \\ & P_{n0} - P_n(\delta_{12}, \delta_{13}, ..., \delta_{1n}) = \\ & = P_{n0} - \left(P_{n0} + \frac{dP_n}{d\delta_{12}}\Delta\delta_{12} + \frac{dP_n}{d\delta_{13}}\Delta\delta_{13} + ... + \frac{dP_n}{d\delta_{1n}}\Delta\delta_{1n} + ... \right) \end{aligned}\right\}. \qquad (10.20)$$

(10.20) tənliklər sisteminin hər bir bərabərliyinin sonunda olan “+” işarəsi və nöqtələr yüksək tərtiblərə ayrılan üzvlərin olduğunu göstərir. Bu üzvləri ataraq və (10.19) tənliyinin sol tərəfini aşağıdakı şəklə gətirərək:

$$T_{j1}\frac{d^2\delta_1}{dt^2}=T_{j1}\frac{d^2\left(\delta_1+\Delta\delta_1\right)}{dt^2}=T_{j1}\frac{d^2\Delta\delta_1}{dt^2}$$

və s. kiçik rəqslər tənlikləri sistemini alarıq:

$$\left.\begin{aligned}
&T_{j1}\frac{d^2\Delta\delta_1}{dt^2}+\frac{\partial P_1}{\partial\delta_{12}}\Delta\delta_{12}+...+\frac{\partial P_1}{\partial\delta_{1n}}\Delta\delta_{1n}=0\\
&T_{j1}\frac{d^2\Delta\delta_2}{dt^2}+\frac{\partial P_2}{\partial\delta_{12}}\Delta\delta_{12}+...+\frac{\partial P_2}{\partial\delta_{1n}}\Delta\delta_{1n}=0\\
&T_{j1}\frac{d^2\Delta\delta_n}{dt^2}+\frac{\partial P_n}{\partial\delta_{1n}}\Delta\delta_{1n}+...+\frac{\partial P_n}{\partial\delta_{1n}}\Delta\delta_{1n}=0
\end{aligned}\right\}. \quad (10.21)$$

(10.21) tənliyinin hər bir bərabərliyini T_j-nin müvafiq qiymətinə bölüb və onların birincisindən növbə ilə bütün yerdə qalanları çıxıb, kiçik rəqslər tənliyini son şəkildə, aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{d^2\Delta\delta_{12}}{dt^2}+\alpha_{12}^{12}\Delta\delta_{12}+\alpha_{12}^{13}\Delta\delta_{13}+...+\alpha_{12}^{1n}\Delta\delta_{1n}=0\\
&\alpha_{13}^{12}\Delta\delta_{12}+\frac{d^2\Delta\delta_{13}}{dt^2}+\alpha_{13}^{13}\Delta\delta_{13}+...+\alpha_{13}^{1n}\Delta\delta_{1n}=0\\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\
&\alpha_{1n}^{12}\Delta\delta_{12}+\alpha_{1n}^{13}\Delta\delta_{13}+...+\frac{d^2\Delta\delta_{1n}}{dt^2}+\alpha_{1n}^{1n}\Delta\delta_{1n}=0
\end{aligned}\right\}. \quad (10.22)$$

Burada, $\alpha_{12}^{12}=\frac{1}{T_{j1}}\frac{\partial P_1}{\partial\delta_{12}}-\frac{1}{T_{j2}}\frac{\partial P_2}{\partial\delta_{12}}$, $\alpha_{12}^{13}=\frac{1}{T_{j1}}\frac{\partial P_1}{\partial\delta_{13}}-\frac{1}{T_{j2}}\frac{\partial P_2}{\partial\delta_{13}}$ - cüt – cüt götürülmüş stansiyaların nisbi təcilləridir. $p = d/dt$ ilə işarə edib və p-ni cəbri kəmiyyət kimi qəbul edərək (10.22) tənliklər sistemini operator formasında yazaq:

$$\left(p^2+\alpha_{12}^{12}\right)\Delta\delta_{12}+\alpha_{12}^{13}\Delta\delta_{13}+...+\alpha_{12}^{1n}\Delta\delta_{1n}=0,$$
$$...\qquad(10.23)$$
$$\alpha_{12}^{1n}\Delta\delta_{1n}+\alpha_{13}^{1n}\Delta\delta_{13}+...+\left(p^2+\alpha_{1n}^{1n}\right)\Delta\delta_{1n}=0$$

Sistemin dayanıqlı olmamsının əlaməti $\Delta\delta_{12}$, $\Delta\delta_{13}$, … , $\Delta\delta_{1n}$ nisbi bucaqlarının sonsuz olaraq artmasıdır. Mütləq bucaqların (δ_1, δ_2, …, δ_n –in) dəyişməsi sistemin dayanıqlığını müəyyən etmir və onların artması dayanıqlı sistemdə də ola bilər. (10.23) xətti tənliklər sisteminin həlli aşağıdakı kimidir:

$$\Delta\delta_{12}=\frac{D_{12}(p)}{D(p)},$$
$$\Delta\delta_{13}=\frac{D_{13}(p)}{D(p)},$$
$$......................$$
$$\Delta\delta_{1n}=\frac{D_{1n}(p)}{D(p)}.$$

(10.23) sistemi bircinsli olduğundan $D_{1n}(p) = 0$, qeyri – trivial həll yalnız $D(p) = 0$ olduqda alına bilər. $D(p)$ təyinedicisi aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$D(p)=\begin{vmatrix}\left(p^2+\alpha_{12}^{12}\right) & \alpha_{13}^{12} & ... & \alpha_{1n}^{12}\\ .... & .... & .... & ....\\ \alpha_{12}^{1n} & \alpha_{13}^{1n} & ... & \left(p^2+\alpha_{1n}^{1n}\right)\end{vmatrix}.$$

Bu təyinedicini açaraq xarakteristik tənliyi alarıq:

$$p^{2(n-1)}+\alpha_2 p^{2(n-2)}+\alpha_4 p^{2(n-3)}+...+\alpha_{2(n-2)}p^2+\alpha_{2(n-2)}=0,$$

bunun köklərinin xarakteri $\Delta\delta_{1n}$ nisbi bucaqlarının dəyişmə xarakterini müəyyən edir və sistemin dayanıqlı və ya dayanıqsız olma faktını təsdiq edir.

10.7.3. Mürəkkəb sistemlərin statik dayanıqlığının paraktiki hesablamalarının əsasları

ES-in yüksək ölçülü olması statik və dinamik dayanıqlığın hesablamalarında onun elementlərinin dəqiq riyazi modellərindən istifadəyə imkan vermir. Tatik dayanıqlığın analizində adətən qəbul olunur ki, generator və mühərriklərin TAT sistemi yaxşı tənzimlənmişdir və bu səbədən özünəyırğalanma, statik dayanıqlığın aperiodik statik həddinə çatana qədər, baş vermir. Bu sadələşmələr çərçivəsində məsələnin həlli olduqca sadələşir, bununla yanaşı hələ də məsələ kifayət qədər öz mürəkkəbliyini saxlayır. İkinci mühüm sadələşmə, generatorun U_g=const, x_G=0 və ya E' =const, x_G=x'_d. Bu sadələşmə, statik dayanıqlığın analizi məsələsini əhəmiyyətli dərəcədə EES-in qərarlaşmış rejimlərininin analizi məsələləri seriyasına yaxınlaşdırır. Belə məsələlərin yaxınlaşmasının əsas müdəaları növbəti şəkildə ifadə oluna bilər.

- EES-nin AIS fasiləsiz xarici həyacanlandırıcı təsirlər (HT) şəraitində fəaliyyət göstərir. Bu HT onların normal iş rejimlərini pozmağa yönəlmişdir.
- Sistemin vacib göstəricisi HT-ə təsir etməklə onun verilmiş tarazlıq halının və ya hərəkətinin davam etdirilməsidir.

Tarazlıq halından kiçik meyletmələr halında qərarlaşmış rejimlərin dayanıqlığının analizi məlum olduğu kimi, xarakteristik bərabərliyinin (xarakteristik təyinediciləri sıfıra bərabər edib çevirməklə əldə olunur) köklərinin analiz olunması vasitəsi ilə həyata keçirilir.

Statik dayanıqlığın analitik hesabatında xarakteristik tənliyin qismən fərqli digər formasından istifadə olunur. Dayanıqlığın Raus, Mixaylov və s. kriterilərindən istifadə olunması daha əlverişli forma hesab olunur:

$$A_0 p^n + A_1 p^{n-1} + A_2 p^{n-2} + ... + A_n = 0. \qquad (10.24)$$

A.M. Lyapunovun məlum teoreminə [15, səh. 407] uyğun olaraq sistemin dayanıqlı olması üçün aydındır ki, (10.24) xarakteristik tənliyinin köklərinin mənfi həqiqi hissəsinin olması zəruri və kafidir. Yəni,

$$\boldsymbol{Re\ p_k} < 0 \quad , \quad \boldsymbol{k} = 1,2,...,\boldsymbol{n}.$$

Həqiqətən, əgər $p_k = a_k, \ a_k < 0$ olduqda

$$\lim_{t\to\infty} C_k e^{p_k t} = 0.$$

Cüt kompleks köklər üçün

$$\lim_{t\to\infty} (C_k e^{p_k t} + C_{k+1} e^{p_{k+1} t}) = \lim_{t\to\infty} D_k \sin(\beta_k t + \gamma_k) = 0.$$

Nəhayət, əgər (10.24) xarakteristik bərabərliyin kökləri arasında təkraralanma mövcud olrsa və onlar sıfırdan kiçikdirlərsə, onda yeni əlavə olunan mürəkkəbələr müəyyən müddətdən sonra səfəra yaxınlaşacaqlar.

Qeyd edək ki, inteqrallama sabitləri arasında növbəti əlaqələr məlumdur:

$$A_k = C_k + C_{k+1} = D_k \sin\Upsilon_k \ ;$$

$$B_k = j(C_k - C_{k+1}) = D_k \cos\Upsilon_k \ ;$$

$$D_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \ ;$$

$$tg\Upsilon_k = A_k / B_k \; .$$

(10.24) fadəsinin sərbəst mürəkkəbəsi onun kökləri ilə məlum bərabərliklə əlaqəlidir,

$$\boldsymbol{a_n} = \boldsymbol{(}-1\boldsymbol{)^n}\, \boldsymbol{a}_0 \prod_{\boldsymbol{i}=1}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{p_i} \quad , \qquad (10.25)$$

burada *H* – hasilat işarəsidir.

İsbat etmək çətin deyil ki, (10.25) ifadəsidə verilən hasildə müsbət həqiqi kökün yaranması a_n əmsalının işarəsinin dəyişməsinə gətirib çıxarır. Bu fakt enerji sisteminin statik dayanıqlığının praktiki hesablamalarında geniş istifadə olunur və növbəti formada verilir:

Əgər dayanıqlı rejimi bilərəkdən dayanıqlı omayan istiqamətdə dəyişsək (ağırlaşdırsaq), onda xarakteristik bərabərliyinin sərbəst mürəkkəbəsinin işarəsinin dəyişməsi statik dayanıqlığın aperiodik həddinə uyğun olacaqdır. Rotorun özünəyırğalanmasını nəzərə almadıqda statik daynılığın belə təyin olunması kafidir.

a_n əmsalının işarəsinin təyin olunma üsulunun göstərilməsi üçün hesab edəcəyiki ki, ES-in əvəz sxemi SGŞ (ən güclü generatorun şini qəbul olunan) olan *m* sayda generatordan ibarətdir. Bu halda, yalnız generator qöşulu olan düyün nöqtələrin ekvivalent sxemləri baxılır. Düyün nöqtələri arasında əlaqələr məxsusi və qarşılıqlı keçriciliklərlə təqdim olunur.

Növbəti mərhələdə bütün generatorlar üçün sadələşdirilmiş riyazi modeli qəbul edirik - U_g*=const,* x_G*=0* və keçid prosesinin *2(m-1)* diferensial və cəbri bərabərlikərini növbəti şəkildə yazırıq:

$$\begin{cases} T_{ji}\dfrac{d^2\delta_{UGi}}{dt^2} = P_{0i} - P_i; \\ P_i = U_{Gi}^2 y_{ii}\, sin\,\alpha_{ii} + \sum\limits_{k=1,k\neq i}^{m-1} U_{Gi}U_{Gk}y_{ik}\, sin(\delta_{UGi} - \delta_{UGk} - \alpha_{ik}) \end{cases} ,$$
(10.26)

Burada $i=1, m-1$.

Qeyd edək ki, sadələşirilmiş riyazi model CT-TAT qurğusu olan sinxron generatora uyğundur. MT TAT qurğusu riyazi modelədə sadəlik məqsədilə baxılmır.

(10.26) ifadəsini xəttiləşdirdikdən və ΔP_i, $i=1, m-1$

dəyişənlərini ixtisar etdikdən sonra növbəti $m-1$ sistem diferensial bərabərliyini alırıq:

$$T_{ji}\frac{d^2\Delta\delta_{UGi}}{dt^2} + \sum_{k=1}^{m-1}\frac{\partial P_i}{\partial\delta_{UGi}}\Delta\delta_{UGk} = 0, \quad i = 1, m-1. \tag{10.27}$$

(10.27) bəabərliyindən $k=i$ indeksli mürəkkəbələri ayıraraq, onları 1-ci mürəkkəbə ilə birləşdirib (10.27) ifadəsini növbəti şəkildə alırıq:

$$\left(T_{ji}p^2 + \frac{\partial P_i}{\partial\delta_{UGi}}\right)\Delta\delta_{UGi} + \sum_{k=1,k\neq i}^{m-1}\frac{\partial P_i}{\partial\delta_{UGi}}\Delta\delta_{UGk} = 0, \quad i = 1, m-1.$$

(10.28)

İfadənin operator formasına çevrilməsi *d/dt* diferensial simvolunun eyni tərtibli *p* operatoru ilə əvəz etməklə əldə olunur. Sonrakı çevrilmələrdə *p* operatoru cəbri kəmiyyət kimi istifadə olunur.

(10.28) sistem bərabərliyinin matrisa şəklində açılışı növbəti formada göstərmək olar:

$$\begin{bmatrix} T_{j1}p^2+\dfrac{\partial P_1}{\partial \delta_{UG1}} & \dfrac{\partial P_1}{\partial U_{UG1}} & \dots & \dfrac{\partial P_1}{\partial \delta_{UGm-1}} \\ \dfrac{\Delta P_2}{\partial U_{UG1}} & T_{j2}p^2+\dfrac{\partial P_2}{\partial \delta_{UG2}} & \dots & \dfrac{\partial P_2}{\partial \delta_{UGm-1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dfrac{\Delta P_{m-1}}{\partial U_{UG1}} & \dfrac{\partial P_{m-1}}{\partial \delta_{UG2}} & T_{jm-1}p^2 & +\dfrac{\partial P_{m-1}}{\partial \delta_{UGm-1}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta\delta_{UG1} \\ \Delta\delta_{UG2} \\ \dots \\ \Delta\delta_{UGm-1} \end{bmatrix} = 0.$$

(9.29)

Sistemin XB təyinedici və ya polinom formasında yazıla bilər. Birinci halda (10.29) kvadrat matrisanın təyinedicisi sırıra = edilir :

$$D(p)=\begin{bmatrix} T_{j1}p^2+\dfrac{\partial P_1}{\partial \delta_{UG1}} & \dfrac{\partial P_1}{\partial U_{UG1}} & \dots & \dfrac{\partial P_1}{\partial \delta_{UGm-1}} \\ \dfrac{\Delta P_2}{\partial U_{UG1}} & T_{j2}p^2+\dfrac{\partial P_2}{\partial \delta_{UG2}} & \dots & \dfrac{\partial P_2}{\partial \delta_{UGm-1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dfrac{\Delta P_{m-1}}{\partial U_{UG1}} & \dfrac{\partial P_{m-1}}{\partial \delta_{UG2}} & T_{jm-1}p^2 & +\dfrac{\partial P_{m-1}}{\partial \delta_{UGm-1}} \end{bmatrix} = 0. \qquad (10.30)$$

(10.30) təyinedicini açaraq, ümumi halda xaraktüristik bərabərliyi (10.24) polinomunu şəklidə almaq olar. *p=0* olan halı üçün (10.24) və 10.30) bərabərliklərindən növbəti ifadəni alırıq:

$$
D(0) = a_n = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{UG1}} & \frac{\partial P_1}{\partial U_{UG1}} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{UGm-1}} \\ \frac{\Delta P_2}{\partial U_{UG1}} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_{UG2}} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_{UGm-1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\Delta P_{m-1}}{\partial U_{UG1}} & \frac{\partial P_{m-1}}{\partial \delta_{UG2}} & \dots & \frac{\partial P_{m-1}}{\partial \delta_{UGm-1}} \end{bmatrix} . \qquad (10.31)
$$

Enerjisistemin qərarlaşmış rejiminin Nyuton metodu ilə hesablanması zamanı düyün güclərinin xüsusi törəməsinin matrisasından (Yakobi matrisasından) istifadə olunur. Matrisanın *J* təyinedicisi yakobiyan adlanır və tərkibi və qiymətinə görə (10.31) təyiniedicisi ilə eynilik təşkil edir. Başqa sözlə, Yakobian XB-nin sərbəst üzvünə bərabərdir, yəni növbəti ifadə yerinə yetrilir,

$$
a_n = J \qquad (10.32)
$$

Bu =yakobianın XB sərbəst mürəkkəbəsi qismində istifadə etməyə imkan verir. Lakin, növbəti şərtlər ödənilməlidir:

1. Hesalama sxemində balanlaşdırırcı düyün nöqtəsi SGŞ kimi iştirka etməlidir;
2. Generatorlar üçün U_G=*const;*
3. Generatorlar ilkin rejimdə P_G , U_G qiymətləri ilə verilməlidir (P_G, Q_G deyil);
4. Dayanıqlıq və qərarlaşmış rejimin hesablamalarında yüklərin eyni statik xarakteristikalarından istifadə olunmalıdır.

Bu şərtlər daxilində statik dayanıqlığın həddi qərarlaşmış rejimin hər hansı parametrinin addımla dəyişməsi, rejimin

ağırlaşması formasında silsilə hesbalamalarla həyata keçrilir. Yakobianın işarəsinin dəyişməsi hədd rejimində baş verir.

Bununla yanaşı, dəqiq hədd rejiminin özünün təyin olunması mümkün deyil. Bu rejimin yaxınlığında Nyuton metoduna görə qərarlaşmış rejimin iterasiyasının dayanıqlığı pozulur. Praktika göstərir ki, bu hal bir sıra digər metodlarda da müşahidə olunur. Hesablanmanın dayıqlığının pozulması yalnız ekvivalent sxem üzrə deyil, eləcə də ES-in ilkin ixtiyari əvəz sxemi üçün də baş verir.

İterasiya prosesinin dağılma faktını statik dayanıqlığın hədd rejiminin təqribi qiyməti kimi qəbul oluna bilər. Lakin, nəzərə almaq lazımdır ki, bu proses ES-in digər rejimlərində də baş verə bilər. Bu hal prqram hesablamalarında nəzərə alınmalıdır.

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, mürəkkəb sistemlərin dayanıqlığının hesablanması üçün ilk növbədə sistemi sadələşdirmək tələb olunur. Hesablama sxemində çox elektrik stansiyalarının saxlanılması hesbalamaları hədddən artıq çətinləşdiridiyiə görə təqribi kriteriyələr tətbiq olunur.

Belə nəticəyə bir çox hallarda dayanqılıq məsələsinin qoyuluşu gətirir. Məsələn, zəif en kəsiyi olan stansiya və yük mərkəzi olan sistemin dayanıqlıq hesablamalarının aparılması tələb olunan hallarda. Başqa sözlə, hesbalamalar 2 maşınlı əvəz sxemi üzrə aparılır.

Digər hallarda hesablama sxemində üç və daha çox elektrik stansiyasının nəzərə alınması zəririyyəti yaranır. Belə *sistemlərin hesablanması praktik hesablama metodlarından* istifadəni zəruri edir. Sinxronlaşdırıcı gücün hesablanması zamanı aralıq stansiyanın dəyişməz qəbul olunur. Lakin bu yalnız sistemin dayanıqlığını qiymətləndirməyə imkan verir. Statik dayanıqlığın ehtiyyat əmsalının təyin olunması ilə bağlı imkanlar məhdud olur.

Ehtiyyatın təyin olunması üçün, ilkin rejimi ağırlaşdırmaqla, bəzi güc xarakteristikasını qurmaqla, müxtəlif nöqtələr üçün sinxronlaşdırıcı gücün qiyməti təyin olunur. Bu halda da hər bir rejim üçün sinxronlaşdırıcı gücün təyini zamanı aralıq stansiyanın dəyişməz olması qəbul olunması mütləqdir.

Beləliklə, statik mdayanıqlığının analizi xarakteristik bərabərliyin köklərin təyin olunması bu tənliyin birbaşa həlli ilə həyata keçirilə bilər. (10.24) tənliyi yüksək tərtibli olduqda xarakteristik tənliyi həll etmədən müəyyən əlamətlərə görə sistemin

dayanıqlığı haqqında fikir söyləməyə imkan verən metodlardan istifadə olunur. Müvafiq əlamətləri *dayanıqlıq kriteri* adlandırırlar.

Raus kriteriyəsi.

İstənilən tərtibli sistem üçün dayanıqlıq kriteriyisinin axtarılması 1868-ci ildə Maksvell tərəfindən formalaşdırılıb və ilk dəfə 1877-ci ildə İngilis alimi Raus tərəfindən rekurrent alqoritm şəklində həll olunub. Raus kriteriyəsi cəbri kriteriyələr sinifinə aiddir.

Sistemin xarakteristik bəarabərliyinin əmsallarına görə dayanıqlıq haqqında mühakimə irəli sürmək üçün Raus cədvəlinin tərtib olunması vacibdir:

- Cədvəlin əmsalını $c_{k,i}$ və sütunu *k,* sətiri isə *i* ilə işarə edirik.
- 1-ci sətir XB cüt əmsallarının artan sırada qeyd olunur.
- 2-ci sətir analoji olaraq tək əmsallara görə formalaşdırılır.
- 3-cü sətirdən başlayaraq əmsallar

$$\boldsymbol{c_{k,i} = c_{k+1,i-2} - r_i c_{k+1,i-1}}$$

burada, $\boldsymbol{r_i = c_{1,i-2} / c_{1,i-1}}$ əlaqələrinə görə hesablanır.

Raus cədvəli növbəti cədvəldə verilir:

Sıra №-si	Sütunun №-si			
	1	2	3	4
1	A_0	A_2	A_4	A_6
2	A_1	A_3	A_5	A_7
3	$A_{13} = A_2 - \frac{A_0}{A_1} A_3$	$A_{23} = A_4 - \frac{A_0}{A_1} A_7$	$A_{33} = A_6 - \frac{A_0}{A_1} A_7$	
4	$A_{14} = A_3 - \frac{A_1}{A_{13}} A_{23}$	$A_{24} = A_5 - \frac{A_1}{A_{13}} A_{33}$	$A_{34} = A_7 - \frac{A_1}{A_{13}} A_{43}$	
5	$A_{15} = A_{23} - \frac{A_{13}}{A_{14}} A_{24}$	………………	……………….	

Cədvəldə sətirlərin sayı XB tərtibindən 1 vahid yüksəkdir, *n+1.*

Raus kriteriyəsi növbəti şəkildə verilir:

Xarakteristik tənliyin bütün köklərinin həqiqi hissəsinin mənfi olması üçün Raus cədvəlinin birinci sütununun bütün elementlərinin sıfırdan fərqli və eyni bir işarəli ***müsbət*** *olması zəruri və kafidir,* $c_{1,k} > 0$ $(k=1,2,...,n+1)$

Əgər bu şərt yerinə yetrilmirsə sistem dayanıqsız hesab olunur və 1-ci sütunda işarələrin dəyişmə dəfəliyi sağ köklərin olmasına işarə edir və onların sayına =dir. Xəyali köklər cütlüyü olduqda və $c_{1,n} = 0$ olarsa, sistem *rəqsi dayanıqlığın* sərhədində yerləşmiş olur. Belə ki, $r_{n+1} = \infty$, onda axırıncı sətir hesablanmır. $a_{1n} = 0$ olduqda sistem *aperiodik dayanıqlığın* sərhədində yerləsir, $c_{1,n+1} = 0$.

Kriteriyənin alqortirmik forması yüksək tərtibli xətti sistemlər üçün geniş tətbiq olunur. Üstünlüyü – maşın hesablamaları ümün rahatdır, çatışmazlıqları – az təsvirli və sərhəddən uzaqlığını təyin etməyə imkan vermir.

Qurvis kriteriyəsi.

1895-ci ildə İsveç alimi Qurviç tərəfindən təklif olunan yanaşma Raus kritriyəsi ilə çöx əlaqəlidir. *Bu, XB-in əmsalları arasında, qeyri-bərabərlik formasında nisbətlərini müəyyən edir.* Qurviç və Raus kriteriyələrini Lyapunov metodundan istifadə etməklə isbat etmək olar.

Xarakteristik bəarabərliyin əmsallarından istifadə etməklə Qurviç təyinedicilərı növbəti alqoritmə görə formalaşdırırılır:

1. *Baş diaqonal soldan sağa XB-in bütün* $A_1 ... A_n$ *delemenetləri yazılır;*
2. *Diaqonalın hər bir elementindən yuxarı və aşağı, diaqonaldan yuxarı elementlər artan, aşağı isə azalan ardıcılıqla (indekslər yuxarıdan aşağə azalaln sıra ilə);*

3. *Digərləri və sıra nömrəsi 0-dan < və ya n-dən > olanların yerinə **0** yazılır* (təyinedicinin sütunlarının sayı sistemin tərtibinə = olduöuna görə sətrilərin sonu *0*-la doldurulur) .

Qeyd edək ki,proqramlaşmada sadə yanaşma tətbiq olunur, 1-ci sətir tək, 2-ci cüt və s.
Bütün təyinedicilər növbəti şəkili alır:
(təyinedicilər baş təyinedicilərin minorlarıdır)

$$\Delta_1 = A_1, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} A_1 & A_3 \\ A_0 & A_2 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} A_1 & A_3 & A_5 \\ A_0 & A_2 & A_4 \\ 0 & A_1 & A_3 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} A_1 & A_3 & A_5 & A_7 \\ A_0 & A_2 & A_4 & A_6 \\ 0 & A_1 & A_3 & A_5 \\ 0 & A_0 & A_2 & A_4 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} A_1 & A_3 & A_5 & \ldots & 0 & 0 \\ A_0 & A_2 & A_4 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & A_1 & A_3 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & A_0 & A_2 & \ldots & 0 & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & A_{n-1} & A_n \end{vmatrix}. \qquad (10.33)$$

Sistemin dayanıqlıq şərti - *(i) xarakteristik bərabərliyin bütün əmsallarının və (ii)Qurvuç matrisasının bütün n baş minorlarının «+» olması zəruri və kafidir.*
Qurviç təyinedicilərinin sayı XB-nin tərtibinə bərabərdir.

Əgər Qurviç krotriyəsnin ifadəsinə dayanıqlığın zəruri şərtini daxil etsək(XB-in bütün əmsalları +), onda Qurviç təyinedicilərinin Δ_{n-1} daxil olmaqla, ona qədər baxılması kifayət edər. Təyinedicilərdə axırıncı sütun sıfırdan fərqli olan bir əmsaldan ibarət olduğundan $\Delta_n = A_n \Delta_{n-1}$ olur.

Növbəti şərtlər yerinə yetrildikdə

$$\Delta_k > 0 \qquad (k=2,3,...n-2);$$

$$\Delta_n = A_n \Delta_{n-1} = 0,$$

sistem dayanıqlıq sərhədində yerləşir. Bu halda $\Delta_n = 0$ şərti iki yerə bölünür:

$A_n = 0$, $\Delta_{n-1} > 0$ və ya

$\Delta_{n-1} = 0$, $A_n > 0$ olduqda .

Burada birinci *aperiodik dayanıqlıq sərhədini*, ikinci isə *rəqsi dayanıqlıq sərhədini* təyin edir. Dayanıqlıq şərtinin (i) və (ii) bəndləri bir – biri ilə əlaqəlidir. A_i ($i = 1 \ldots n$) əmsalların müsbət olduğu halda Qurvisin bütün təyinedicilərinin müsbət olmasının təmin olunması üçün bütün tək təyinedicilərin Δ_1, Δ_3, Δ_5 və s. işarəsinin yoxlanılması kifayətdir. Belə kriteriya ***Lenara – Şıpara kriteriyası (***1914-cü ildə lenar və Şapira göstərdilər ki, *əgər bütün əmsallar 0-dan > olduqda, Qurviç təyinedicilərinin tək və cüt əmsalların "+" olması dayanıqlığı zəruri və kafi şərti kim baxıla bilər.**)*** adlanır.

Qeyd edək ki, Qurviç kriteriyəsinin tərtibi 5-dən kiçik sistemlər üçün qəbul olunması məqədəuyğun hesab olunur. Çatışmazlığı – az görünən, üstünlüyü isə maşın realizasiyası rahat olmasıdır.

Mixaylov kriteriyəsi.

Cəbri və tezlik (arqument prinsipinə əsaslanır) metodları üzrə aralıq metod hesab olunur və kompleks dəyişən funksiya nəzəriyyəsindən məlum olan *arqument prinsipi* əsasında formalaşır.

Yəni, dayanıqlığın analizi *ω-nın 0-dan ∞-a* qədər dəyişməsindən *A(p)* xarakteristik polinomun kökərinin yerləşməsinin bu polinomun *A(jω)* qadoqrafı (kompleks müstəvidə qrafiki) ilə əlaqəsi əsasında qurulur.
Qəbul edək ki, *A(p)* *=0* bərabərliyi *m* sağ və *n-m* sol kökləri var. Onda ***ω*** -∞ dan + ∞-a qədər dəyişməsindən *argA(jω)* arqumentinin artımı, dönmə bucağı növbəti ifadə ilə təyin olunur:

$$\Delta \underset{-\infty<\omega<\infty}{\arg} A(j\omega) = \sum_{k=1}^{n} \Delta \underset{-\infty<\omega<\infty}{\arg} A(j\omega - p_k) =$$

$$= (n-m)\pi - m\pi = (n-2m)\pi \quad ,$$

Bu arqument prisipinin əsasını təşkil edir.
Və ya *ω*-nı *0*-dan ∞ kimi dəyişən halında *A(jω)* vektorunun arqumenti 2 dəfə azalacaqdır.
Bu arqument prisipinin əsasını təşkil edir.
Və ya *ω*-nı *0*-dan ∞ kimi dəyişən halında *A(jω)* vektorunun arqumenti 2 dəfə azalacaqdır.

$$\Delta \underset{0<\omega<\infty}{\arg} A(j\omega) = (n-2m)\pi / 2 \ .$$

Arqument prisipinin qaydası bu ifadədən alınır: Tezliyin ***ω*** -∞ dan + ∞-a qədər dəyişməsindən *A* vekorunun arqumentinin dəyişməsi *A(p)* bərabərliyinin sol və sağ köklərinin fərqinin π-yə hasilinə, 0 dan + ∞-a qədər dəyişdikdə isə bu fərq π/2-yə hasilinə bərabərdir. Bu prinsip bütün tezlik kriteriyələrinin əsasını təşkil edir.
İndi isə Arqument prinsipinin həndəsi interpretasyasi olan ***Mixaylov kriteriyəsinə baxaq***, başqa sözlə
A.V. Mixaylov kriteri elektrik sisteminin dayanıqlq şərtini həndəsi formada ifadə etməyə imkan verir. (10.24) xarakterik tənliyində $p = j\omega$ qəbul edərək onu aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

$$A(j\omega) = A_0(j\omega - p_1)(j\omega - p_2)...(j\omega - p_n).$$

Bu tənliyin sağ tərəfini həqiqi və xəyali hissələrə bölərək, alarıq:

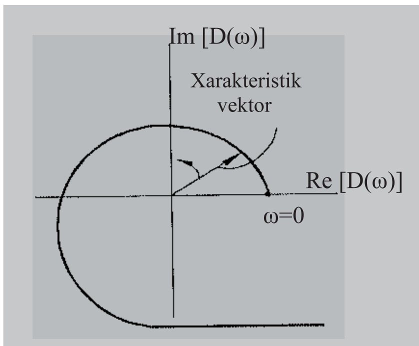
$$A(j\omega) = Re[A(j\omega)] + jIm[A(j\omega)] = |A(j\omega)| j^{j\varphi\omega},$$

belə ki,

$$Re[A(j\omega)] = A_n - A_{n-2}\omega^2 + A_{n-4}\omega^4 ...,$$

$$Im[A(j\omega)] = A_{n-1}\omega - A_{n-3}\omega^3 + A_{n-5}\omega^5 ...$$

ω-ya 0-dan +∞-a qədər qiymətlər verərək ω-nın hər bir qiyməti üçün kompleks müstəvidə nöqtə alarıq. Bu nöqtələr çoxluğu əyri yaradır ki, o da xarakteristik çoxhədlinin qodoqrafı (Mixaylov) adlanır. ω–nı dəyişdirərkən sonu qodoqraf üzrə sürüşən vektor, xarakteristik vektor adlanır (*şəkil 10.12*).



Şək. 10.12. Dört tərtibli xarakteristik tənliyin qodoqrafı.

Mixaylov kriteri qısa şəkildə aşağıdakı kimi, ifadə lunur*: xarakteristik tənliyin həqiqi hissəsinin köklərinin mənfi olması üçün ω-nın 0- dan + ∞-a qədər dəyişməsi zamanı xarakteristik vektorun monoton olaraq saat əqrəbinin əksi istiqamətinə nπ/2 bucağı qədər dönməsi zəruri və kafidir.*

Burada *n*–xarakteristik tənliyin tərtibidir. ω-nın bütün qiymətlərində xarakteristik vektorun modulu sıfırdan fərqli olmalıdır.

D – bölmə metodu.

Sistemin hər hansı bir parametrinin (məs. təsirlənmə tənzimləyicisinin gücləndirmə əmsalının) dayanıqlığa təsirini aşkar etmək lazım gəldikdə *D –bölmə metodu* tətbiq olunur.

Avtomatik tənzimləmə sisteminin xarakteristik tənliyinin köklərinin həqiqi hissəsinin yalnız mənfi olduqda seçilən gücləndirmə əmsalı qiymətinin təyini məsələsi *D* – bölmə metodunun köməyi ilə həll olunur. Bununla yanaşı parametrlərin sayından asılı olaraq *D* – bölmə metodunu – bir, iki və daha çox parametr üzrə *D* – bölmə metodlarına ayırırlar.

Bir parametrə görə D – bölmə metodu. Əgər (10.24) xarakteristik tənliyinin bəzi əmsalları avtomatik tənzimləmə sisteminin *K* parametrindən xətti asılıdırsa, onda tənlik aşağıdakı kimi təqdim oluna bilər:

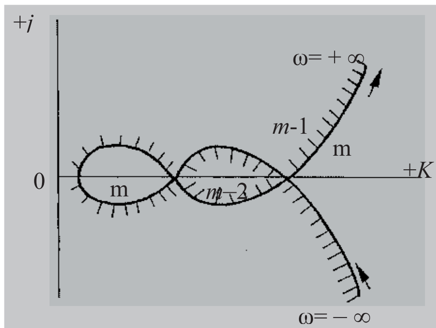
$$Q(p) + K\ R(p) = 0, \qquad (10.26)$$

burada *Q(p)* – *K* –dan asılı olmayan üzvlərin cəmidir.

Əgər (9.26) –da $p = j\omega$ qəbul etsək, onda

$$K = -\frac{Q(j\omega)}{R(j\omega)}.$$

ω-ya – ∞-dan + ∞-a qədər həddə müəyyən Δω intervalı ilə qiymətlər verərək *K*(ω)- nın bir sıra qiymətlərini hesablayıb, həmin qiymətlərə görə *K* parametrinin kompleks müstəvisində əyrini qururlar və əyrini baxılan parametrin müstəvisinin *D*–bölmə sərhədivə ya *D*–əyrisi adlandırırlar. *Şəkil 9.13*-də *D*–bölmə sərhədi



Şəkil 10.13.Bir parametr üzrə D–bölmənin sərhəddi

göstərilibdir. *D* –əyrisi üzərində olan *K* parametrlərinin bütün qiymətlərində xarakteristik tənliyin bir xəyali kökü vardır. Ona görə də deyirlər ki, *D* – əyrisi köklərin kompleks müstəvisinin xəyali oxunun, *K* parametrinin müstəvisində təsvirdir. *D* –bölmənin sərhədi

K parametrinin müstəvisini müsbət həqiqi hissələri olan köklərini bərabər saylı sahələrə bölür. Eyni bir sayda olan belə köklərin sahəsini digərlərindən ayırmaq üçün *D* – bölmə sərhədini ştrixləyirlər. Ştrixləmə əyri üzrə soldan başlayaraq $\omega = -\infty$-dan $\omega = +\infty$-a tərəf yerinə yetirilir.

İndi, əgər *K* parametri dəyişərək ştrixlənmiş tərəfdən *D* – əyrisini kəsirsə, onda xarakteristik tənlik sol tərəfdəki yarımmüstəvidə yerləşən bir kökü itirir və sağ tərəfdə yerləşən bir kökü qazanır. *D* – əyrisinin ştrixlənməmiş tərəfi kəsməsi, sol yarımmüstəvidə yerləşən bir kökün qazanılması, sağ tərəfdə bir kökün itirilməsi deməkdir. Ştrixləmədən sonra *D* – bölmə sahəsinin işarələnməsini yerinə yetirirlər. Bunun üçün istənilən sahəni seçib onu *m* tərəfi olaraq işarə edirlər və bu sahə üçün sağ yarımmüstəvidə köklərin sayının *m*-ə bərabər olduğu hesab edilir. Bu sahədən qonşu sahəyə tərəf hərəkət edərkən, əgər *D* – əyrisi ilə kəsişmə ştrixlənmiş tərəfdən ştrixlənməmiş tərəfə baş verirsə sahəni $m + 1$ kimi, əgər kəsmə ştrixlənməmiş tərəfdən ştrixlənmiş tərəfə baş verirsə $m - 1$ kimi qeyd edirlər. Bundan sonra sağ yarımmüstəvidə xarakteristik tənliyin kökünün ən az sayda olan sahəsini seçirlər. Bu sahə dayanıqlıq sahəsinə iddiaçı hesab olunur. Sonda, seçilmiş *K* parametrinin qiymətləri sahəsinin dayanıqlıq sahəsi olduğunu qəti sürətdə müəyyən etmək üçün bu sahədə *K*-nın qymətini verərək, onu xarakterik tənlikdə yerinə yazaraq əvvəldə baxdığımız hər hansı bir kriteriya ilə tənliyin köklərinin xarakterini yoxlamaq zəruridir. *K*-nın yalnız həqiqi qiymətlərinin fiziki mənası vardır. Ona görə də dayanıqlıq haqqında qəti qərar yalnız *K*-nın absis oxu üzərində yerləşən qiymətləri üçün verilir.

10.8. YÜKÜN STATİK DAYANIQLIĞI

Yük EES-nin güc elementləri sinifinə aiddir. Onun texnoloji xarakteristikaları bilavasitə enerji sisteminin rejiminə, o cümlədən generatorların paralel iş rejiminini dyanıqlığına təsir edir. Əgər qəbuledici sistemin gücü elektrik verilişinin gücü ilə müqayisəoluna biləndirsə, onda elektrik verilişinin rejimi dəyişdirildiyi halda yükün şinində gərginlik sabit qalmır. Bu halda ötürülən gücün həddi (*həqiqi*

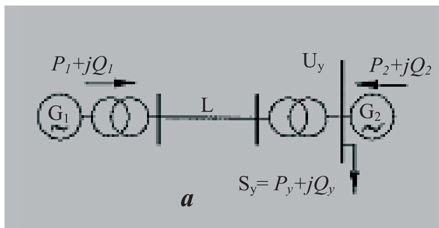
hədd adlanan) yükün şinində gərginliyin sabit olduğu haldakı həddindən xeyli aşağı olur. Digər tərəfdən, yükün şinində gərginliyin dəyişməsi yükün tərkib hissələri olan sinxron və asinxron mühərriklərin dayanıqlığını, yəni yükün özünün dayanıqlığını poza bilər.

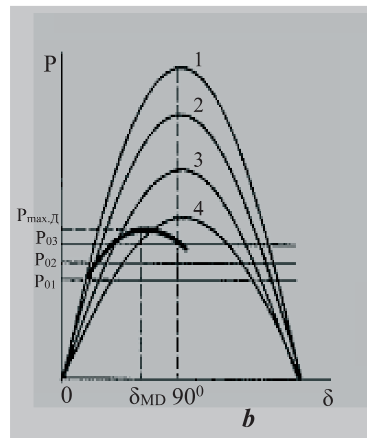
Yükün statik elementləri, o cümlədən işiqlanma sistemləri, statik batareya kondensatorları, şuntlayıcı reaktorlar və s.-yə münasibətdə paralel iş rejiminin dayanıqlığı məsələsi onların elektrik mühərriklərini və enerjisistemin bütölükdə dayanıqlığına təsiri mənasında baxılır.

Elektrik mühərrikləri və sinxron generatorların statik dayanıqlığı analizinin vacib məsələsi onların və yükün riyazi modelinin düzgün seçilməsi təşkil edir. Adətən, statik dayanıqlığın praktiki hesablamalarında yüklər aktiv və reaktiv güclərin gərginlik və tezliyə görə statik xarakteristikalarından istifadə olunur.

10.8.1. Gücün həqiqi həddi

Qəbuledici sistem – yük və yerli elektrik stansiyaları kimi təqdim olunmuş elektrik verilişi sxeminə baxaq *(şəkil 10.14, a).*





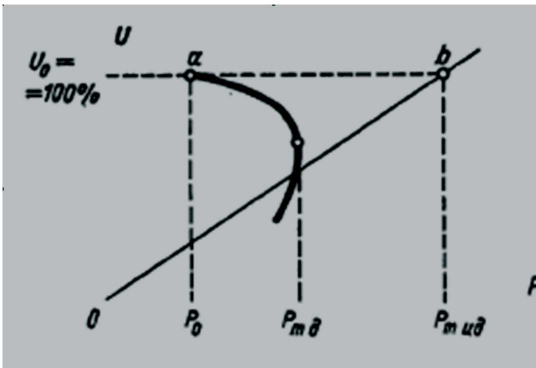
Şək. 10.14. Gücün həqiqi həddinin təyini
a – prinsipial sxem;
b –U_y = 1.0, 0.9, 0.8, 0.7 qiymətlərində güc xarakteristikaları (1–4 əyriləri müvafiq olaraq göstərilən qiymətlərə uyğundur, gücün həqiqi xarakteristikası – qalın xətlə çəkilib)

Yerli stansiyanın gücü ötürücü stansiyanın gücü ilə müqayisə olunan həddədir. Ona görə də G_1 elektrik stansiyasından verilən

aktiv güc artırıldıqda yükün şinlərində U_y gərginliyi azalacaqdır. Burada U_y – yük gərginliyidir. U_y gərginliyinin müxtəlif qiymətləri üçün güc xarakteristikaları ailəsini qurub, gücün həqiqi xarakteristikasını almaq olar. Bunun üçün δ bucağını artıran zaman U_y gərginliyinin azalmasına müvafiq olaraq işçi nöqtəni bir xarakteristikadan digərinə keçirmək lazımdır. Gücün həqiqi həddi adlandırılan, gücün həqiqi xarakteristikasının maksimumu 90^0-dən kiçik bucaq zamanı alınır (*şək. 10.14, b*). Maksimum güc həddi U_y = const şərti ilə müəyyən olunan güc həddinin qiymətindən xeyli aşağı olur. Odur ki, U_y-nin azalması baxılan sistemin statik dayanıqlığını pisləşdirir.

Bu faktorun qiymətinə müraciət edərək, dayanıqlığın praktiki hesablamalarında əksər hallarda ötürülən gücün bucaqdan deyil *U*-dan asılılığı, (*U=f(P)*) qrafiki qurulur (*şəkil10 15*) və bu xarakteristikada maksimum güc *P=f(δ)* xarakteristikalarının maksimum gücü ilə üst-üstə düşür və *həqiqi güc həddidir*. Verilən İlkin rejimi *a* nöqtəsi ilə xarakterizə olunan *ideal güc həddi_b* nöqtəsi ilə xarakterizə olunur (U=const üfüqi xətti ilə *ab* xətinin kəsişmə nöqtəsi). Bu $P_{max.id}$ $=EU/x_s$-nin qiymətini verir.

Yükün U_y gərginliyinə təsiri *yükün tənzimləyici effekti* ilə, yəni şinlərdə gərginliyin azalması ilə yükün aktiv və reaktiv gücünün azalma dərəcəsi ilə təyin olunur. G_1 stansiyasından verilən aktiv gücün artırılması onun şinlərində gərginliyin azalması ilə müşayət olunur.



Şək.10.15. Gücün gərginlikdən asılılığı

Bu zaman G_1 stansiyasının şinlərində gərginliyin sabit saxlanılması nəzərdə tutulur. Lakin U_y gərginliyinin azalması ilə yüklərin

istifadə etdikləri P_y və Q_y gücləri də azalır.

Xətlə ötürülən gücün azalması isə elektrik verilişinin elementlərində gərginlik düşgüsünü azaldır ki, bu da öz növbəsində verilən gücün artırılması zamanı U_y gərginliyinin azalma dərəcəsini azaldır.

Yükün tənzimləyici effekti statik xarakteristikanın işçi nöqtəsində *dP/dU* və *dQ/dU* törəmələri ilə təyin olunur. Tənzimləyici effekt gücün həqiqi həddinə xeyli təsir edir və dayanıqlığın praktiki hesabatlarında onunla hesablaşmaq lazım gəlir.

10.8.2. Mühərrik yüklərinin statik dayanıqlığı

Sinxron və asinxron mühərriklərdə dayanıqlığın səviyyəsi çox yüksək dərəcədə onların sıxaclarında olan gərginliklə təyin olunur.

Elektrik sisteminin yükünün əsas hissəsini təşkil edən *asinxron mühərriklər* gərginliyin xeyli aşağı düşməsindən tormozlanaraq dayanır. *Şək. 2.25, b*-də asinxron mühərrikin əvəz sxemi verilibdir. Həmin sxemdə polladdakı aktiv güc, həmçinin statorda aktiv itkilər nəzərə alınmamışdır. Şəbəkədən mühərrikin qəbul etdiyi güc fırladıcı momentin və mühərrikin maqnit selinin fırlanma bucağının sürətinin hasili kimi təyin edilir. Qidalandırıcı şəbəkənin tezliyi dəyişmədiyi halda mühərrikin istənilən sürüşməsi zamanı onun bucaq sürəti sabit qalır, ona görə də mühərrikin fırlanma momenti onun aktiv gücünə mütənasibdir. Nisbi vahidlərdə mühərrikin fırladıcı momentini onun istifadə etdiyi aktiv gücə bərabər qəbul edirlər.

Aktiv gücün sürüşmədən asılılığı aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$P = I^2 R_2 / S = \frac{U^2}{x_S^2 + \left(R_2 / S\right)^2} \frac{R_2}{S} = \frac{U^2 R_2}{x_S^2 S^2 + R_2^2} S. \quad (10.27)$$

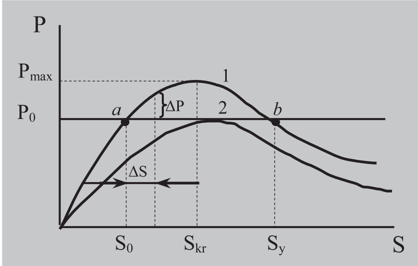
Bu asılılıq mühərrikin məlum güc xarakteristikasını yaxud fırladıcı momentini verir (şəkil 9.15). Bu xarakteristikanın maksimumu (10.27) ifadəsinin sürüşməyə görə götürülmüş törəməsi ilə təyin olunur:

$$\frac{dP}{dS}P = U^2 R_2 \frac{R_2^2 - x_S^2 S^2}{\left(R_2^2 + x_S^2 S^2\right)^2} = 0.$$

Bu ifadədən görünür ki, mühərrikin maksimum gücünə $R_2^2 - x_s^2 S^2 = 0$ şərti yerinə yetirildiyi halda nail olmaq olar. Buradan kritik sürüşmə $S_{kr} = \pm R_2 / x_s$ bərabərliyindən, maksimum moment isə aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$R_{\max} = U^2 / 2x_s \qquad (10.28)$$

Fərz edək ki, tormozlama momentinin xarakteristikası sürüşmədən asılı deyil və absis oxuna paraleldir (*şəkil 10.16*). Mühərrikin qərarlaşmış iş rejimi mühərrikin moment və tormozlama momenti xarakteristikalarının iki kəsişmə nöqtəsində:*a* və *b* *n*öqtələrində mümkündür. *a* nöqtəsində mühərrikdə sürüşmənin ΔS artımı mühərrikin fırladıcı momentini ΔP qədər artırır və mühərrikin valında surətləndici izafi moment yaranır ki, onun təsiri altında sürət artmağa başlayır, sürüşmə isə azalır.



Şək. 10.16. U = 100, 70 % olan hallarında asinxron mühərrikin qərarlaşmış iş rejimi (1, 2 əyriləri U faizlərinə müvafiq olaraq)

Bunun nəticəsində *a* nöqtəsində qərarlaşmış rejim yaranır. Əgər mühərrik S_y (*b* nöqtəsi) sürüşməsi ilə işləyirsə sürüşmənin artması zamanı mühərrikin valında tormozlayıcı izafi moment yaranır ki, o sürüşmənin artımını davam etdirir və nəticədə mühərrik dayanır. Mühərrikin statik dayanıqlığının kriteri aşağıdakı törəmənin işarəsinin müsbət olmasıdır:

$$\frac{dP}{dS} > 0$$

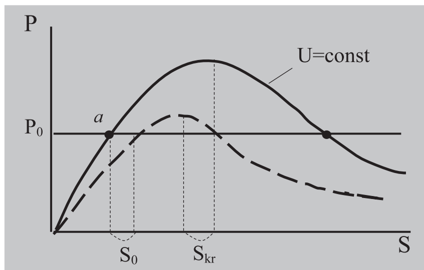
Mühərrikin rejiminin statik dayanıqlıq üzrə son həddi xarakteristikanın maksimumunda S_{kr} nöqtəsində əldə olunur.

Mühərrikin sıxaclarında nominal gərginlik olduqda onun maksimal gücü nominal gücündən təqribən iki dəfə çox olur. Gərginlik aşağı düşdükcə mühərrikin elektromaqnit gücünün qiyməti kvadratik asılılıq üzrə aşağı düşür. Gərginliyin qiyməti təqribən 30 % aşağı düşdükdə maksimal güc nominala yaxınlaşır. Qərarlaşmış rejimlərdə gərginliyin qiymətinin belə səviyyədə aşağı düşməsi yol verilməzdir. Ona görə də, əgər mühərrik qoşulan nöqtədə gərginliyə qəbul olunmuş standartlara uyğun nəzarət olunursa və o, lazımi səviyyədə saxlanılırsa, onun statik dayanıqlığına görə problem olmur. Mühərrik yuxarıda göstərilən nöqtəyə xarici müqavimət vasitəsilə qoşulduqda başqa vəziyyət yaranır. Belə müqavimətə mühərrikin şəbəkəyə qoşulduğu kabel malik ola bilər. Əvəz sxeminin x_μ müqaviməti nəzərə alınmadıqda mühərrikin aşırıcı momenti (10.28) formulu üzrə tapıla bilər:

$$R_{\max} = U^2 / 2\left(x_S + x_{\text{xar}}\right).$$

Xarici müqaviməti nəzərə almaqla güc xarakteristikasının dəyişməsi *şəkil 10.17*-da göstərilib.

Göründüyü kimi burada xarici müqavimətin nəzərə alınması ilə dayanıqlıq ehtiyatının xeyli aşağı düşməsi müşahidə olunur.



Şəkil 10.17. Xarici müqavimətin güc xarak – teristikasına təsiri (ştrixli əyri xarici müqa – vimətin nəzərə alınması ilə qurulub).

Xarici müqavimətin böyük qiymətlərində elə rejimlər ola bilər ki, həmin rejimlərdə gərginliyin az miqdarda azalması (buraxıla bilən həddə) asinxron mühərrikin statik dayanıqlığının pozulmasına səbəb ola bilər.

Sinxron mühərriklərin statik dayanıqlığı sinxron generatorun statik dayanıqlığında olduğu kimi $dP/d\delta > 0$ meyyarı ilə qiymətləndirilir. TAT qurğusu olmayan hallarda maksimal güc və kritik gərginlik aşağıdakı formullarla təyin olunur:

$$P_{\max} = \frac{E_q U}{x_d + x_{\text{xar}}}, \qquad U_{kr} = \frac{P_0\left(x_d + x_{xar}\right)}{E_q},$$

burada x_{xar} – mühərrikin U gərginlikli şinə qoşulduğu naqilinin (kabelinin) müqavimətidir;

P_0 – mühərrikin dayanıqlığının qiymətləndirildiyi rejimdə istifadə etdiyi gücdür.

Əgər mühərrik proporsional tipli TAT qurğusu ilə təhciz olunubsa o hesabatlarda (sinxron generatora analoji olaraq) $E' = \text{const}$ EHQ və x'_{d} müqaviməti ilə təqdim olunur. Bu halda kritik gərginlik aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$U'_{\text{kr}} = \frac{P_0\left(x'_d + x_{xar}\right)}{E'},$$

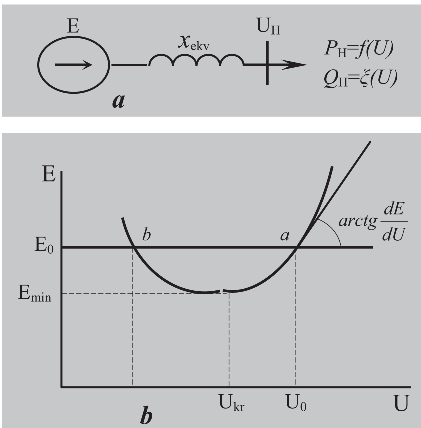
Bu gərginlik, $x'_{\text{d}} < x_{\text{d}}$ olduğu üçün, hər zaman U_{kr} gərginliyindən kiçik olur.

10.9. YÜKÜN DAYANIQLIĞININ ƏLAVƏ (KÖMƏKÇİ) KRİTERİLƏRİ

Elektrik sisteminin yükü müxtəlif növ işlədicilərdən ibarətdir və mühərriklər onların tərkibinin müəyyən hissəni (əksər hallarda xeyli hissəni) təşkil edir. Formal olaraq statik dayanıqlığın praktiki (birinci) $dP/dS > 0$ kriterinin tətbiq olunması əksər hallarda ekvivalent mühərrikin parametrlərini dəqiq təyin etmək mümkün olmadığından çətinləşir. Bu, yükün statik xarakteristikaları üzrə onun dayanıqlığının qiymətləndirmə imkanını əldə etmək üçün digər kriteriləri axtarmaq zəruriyyəti yaratmışdır (*şək. 2.22, 2.23-ə bax*).

Belə kriterilərdən biri sistemin yükünü qidalandıran generatorun EHQ-sinin gərginliyə görə törəməsinin işarəsidir, $dE/dU > 0$

Bu törəmə $E = f(U)$ xarakteristikasına toxunanın əmələ gətirdiyi bucaqla təyin olunur. $E = f(U)$ funksiyası yükün statik xarakteristikasının köməyi ilə qurulur. Yüküün istənilən qidalanma sxemini *şəkil 10.18, a*-da göstərilən şəklə gətirmək olar.

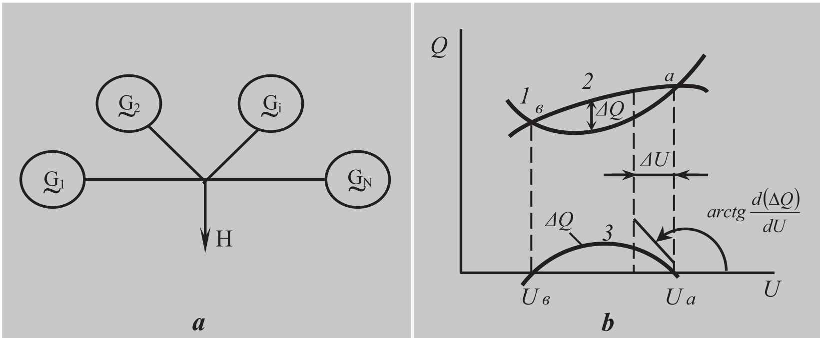


Şək.10.18. Yükün əlavə kriteri dE/dU > 0 – nin təyini üçün: a – yükün qoşulmasının prinsipial sxemi; b – dE/dU kriterinin təyini

Tutaq ki, ilkin rejimdə ekvivalent EHQ E_0-a, yükün gərginliyi isə U_0 -a bərabərdir.Şinlərdə gərginliyi azaldaraq statik xarakteristikaya görə bu gərginliyə uyğun olan aktiv və reaktiv güclərin yeni qiymətlərini təyin edə bilərik. Sonra sxemin (*şək. 10.18*, *a*) rejimini hesablayaraq *E*-nin yeni qiymətini təyin edirlər. Gərginliyin bir neçə qiyməti üçün bir sıra hesabatlar apararaq $E = f(U)$ asılılığını (*şəkil 10.18*, *b*) qurmaq olar. $E = f(U)$ xarakteristikasında *E* EHQ-si üçün generatorun iki rejimi (*a* və *b* nöqtələrində) mümkündür. *a* nöqtəsində $dE/dU > 0$, *b* nöqtəsində isə bu törəmə sıfırdan kiçikdir – $dE/dU < 0$. $E = f(U)$ xarakteristikasının hər bir nöqtəsində U gərginliyi – nin azalması ilə ona müvafiq olan sürüşmənin artan qiyməti uyğundur. Əgər asinxron mühərrikin güc xarakteristikasına (*şək. 10.15*-ə bax) qayıtsaq nəticə çıxarmaq olar ki, $E = f(U)$ asılılığında ən kiçik sürüşməyə uyğun olan *a* nöqtəsi yükün dayanıqlı iş rejiminin, *b* nöqtəsi isə dayanıqsız iş rejiminin nöqtəsidir. Son hədd rejimi $E = f(U)$-da *E* EHQ-nin E_{min} nöqtəsi ilə təyin olunur, burada $dE/dU = 0$. Bu halda yükün gərginliyə görə dayanıqlıq ehtiyatı aşağıdakı formul ilə hesablanır:

$$K_{eh} = \frac{U_0 - U_{kr}}{U_0} 100\%.$$

Yükün qoşulduğu ümumi düyün nöqtəsi ilə birləşdirilmiş elektrik stansiyaları qrupundan ibarət olan elektrik sistemində *(şəkil 10.19, a)* yükün dayanıqlığının hesabatı zamanı aşağıdakı kriteridən istifadə etmək əlverişlidir.



Şək. 10.19. Yükün əlavə kriteri dΔQ/dU<0 –nin təyini:
a –yükün qoşulmasının prinsipial sxemi;
b – generatorun və yükün reaktiv güc xarakteristikaları ($Q_{\Sigma Y}$ *–əyri 1,* $Q_{\Sigma G}$ *–əyri 2,* *ΔQ*–əyri 3)

$$\frac{d\Delta Q}{dU} < 0. \qquad (10.29)$$

burada $\Delta Q = \Sigma Q_G - \Sigma Q_Y$.

Şəkil 10.19, b-də ekvivalent generatorun və yükün reaktiv gücünün xarakteristikası göstərilmişdir. Generatorun reaktiv gücünün xarakteristikası generatorun EHQ-sinin dəyişmədiyi və generatorun aktiv gücünün yükün aktiv gücünə ($P_G = P_Y$) müvafiq dəyişməsi şərtində alınan gərginlik zamanı hesablana bilər. Bu zaman yükün gücü $P_Y = f(U)$ statik xarakteristikası üzrə hesablanır. Reaktiv gücün xarakteristikasının mümkün iş rejimini təyin edən iki kəsişmə nöqtəsi vardır: *a* və *b* nöqtələri. Bu nöqtələr aydındır ki, mühərrikin güc xarakteristikasında olan eyni adlı nöqtələrlə üst – üstə düşür *(şəkil 10.15*-ə bax).

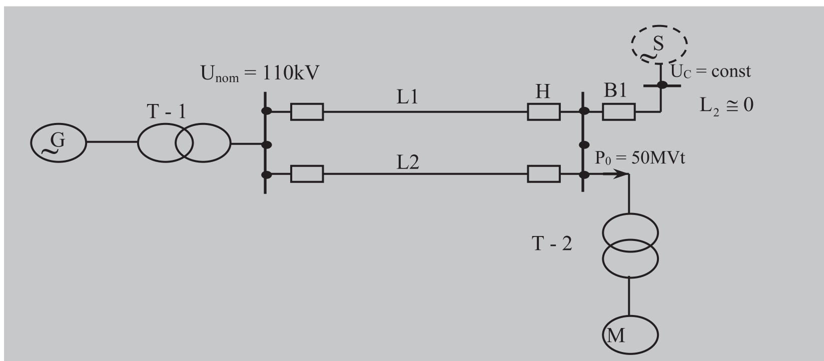
Böyük gərginliyə (müvafiq olaraq kiçik sürüşməyə) uyğun olan *a* nöqtəsi dayanıqlı işləmə nöqtəsidir, *b* nöqtəsi isə dayanıqsızdır. Əgər ilkin iş rejimi dayanıqlıdırsa və *a* nöqtəsi ilə təyin olunursa onda yükə bir qədər ΔQ reaktiv güc istifadə edən induktiv keçiricilik qoşulduqda onun gərginliyi ΔU qədər azalacaqdır. Bu zaman müsbət ΔQ-yə mənfi ΔU uyğun olur ki, o da (10.29) kriteri ilə təsdiqlənir.

M ə s ə l ə 10.2. Uzaqda yerləşən G su elektrik stansiyası 110kV –luq iki dövrəli xətlə yarımstansiyanın işlədicilərini qidalandırır. H yarımstansiyasının yükü bir ekvivalent asinxron mühərrik şəklində verilib. O, aşağıda göstərilən şəkildə verilmiş sxemdə yarımstansiyanın T – 2 transformatorunun ikinci tərəf şininə birləşdirilib. Yarımstansiyanın 110 kV – luq şini qısa L2 xətti ilə qəbuledici sistemin şininə birləşdirilib. Xəttin uzunluğu kiçik olduğundan müqaviməti nəzərə almamaq olar. Belə əlaqənin olması zamanı gərginlik Uy = Uc = const olur və ötürmənin və mühərrikin rejimlərindən asılı olmur.

Normal ilkin rejimdə L2 xətti ilə (A1 açarı vasitəsilə) aktiv və reaktiv güc axını sıfıra bərabərdir və bu əlaqə ehtiyatlamaya xidmət edir. Sxemin parametrləri şəkildə verilibdir, burada generatorun, transformatorların və mühərrikin nisbi vahidlərdə müqavimətləri S_b = 62,5 MVA və U_b = 110kV zamanı verilmişdir və $S_G = S_{T1} = S_{T2} = S_M$ = 62,5 MVA – a bərabərdir.

Sxemin parametrləri:
Generator: P_{nom} = 50 MVt, cosφ = 0.8, $x_d = 1.1$, $x'_d = 0.3$.
Transformatorlar: $S_{T1} = S_{T2} = S_G$, $x_{T1} = x_{T2} = 0,1$.
Xətt: L1 = L2 = 95 km, x_0 = 0.41 Om/km, $x_{L1} = x_{L2} = 0,2$.
Asinxron mühərrik: $x_S = 0.2$, $R_2 = 0.03$, $S_M = S_G$.

T ə l ə b o l u n u r: 1) U_{kr} – kritik gərginliyi tapmalı, yəni elə bir gərginliyi ki, H yarımstansiyanın şinlərində həmin gərginlik zamanı ekvivalent mühərrikin çevrilməsi (aşırılması) baş verəcəkdir. 2) $U_H = 1(S_0)$ və U_{kr} - kritik gərginliyə müvafiq gərginlik, yəni S_{kr} – kritik sürüşmə zamanı mühərrikin normal sürüşməsini təyin etməli; 3) normal gərginlik zamanı mühərrikin P_{max} – maksimal (çevirici) momentini tapmalı; 4) güc və sürüşmə üzrə dayanıqlıq ehtiyatını tapmalı. Hesab zamanı ehtimal olunur ki, mühərrikin mexaniki yükü sürüşmədən asılı deyil.



H ə l l i. Mühərrikin sərf etdiyi güc təqribi olaraq aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$P = \frac{U^2}{x_\Sigma^2 + \left(R_2/S\right)} \frac{R_2}{S},$$

$$U = \sqrt{P_0\left(R_2^2 + x_\Sigma^2 S^2\right)/R_2 S},$$

burada x_Σ – mühərrikin x_S – müqavimətlərinin və gərginliyi dəyişməz qəbul edilən nöqtəyə qədər olan müqavimətin cəmidir.

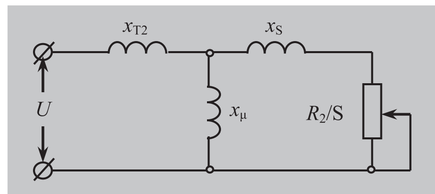
Bizim halda $x_\Sigma = x_S + x_{T2} = 0{,}2 + 0{,}1 = 0{,}3$. x_Σ – in alınmış qimətindən istifadə edərək bizi maraqlandıran bütün qiymətləri tapa bilərik.

Kritik gərginlik

$$U_{kr} = \sqrt{2P_0 x_\Sigma} = \sqrt{2\frac{50}{62.5}0.3} = \sqrt{0.48} = 0.693 \approx 0.7.$$

S – sürüşməsinə nəzərən güc tənliyini həll edib U = 1 qiymətində mühərrikin normal S_0 sürüşməsini taparıq:

$$P_0 = U^2 R_2\ S / R_2^2 + x_\Sigma^2 S^2$$



və ya

$$P_0 x_\Sigma^2 S^2 - U^2 R_2\ S + P_0 R_2^2 = 0$$

buradan

$$S^2 - \frac{U^2 R_2}{P_0 x_\Sigma} S + \frac{R_2^2}{x_\Sigma^2} = 0, \quad S^2 - \frac{1^2 \cdot 0.03}{0.8 \cdot 0.3^2} S + \left(\frac{0.03}{0.3}\right)^2 = 0, \quad S^2 - 0.416S + 0.01 = 0$$

$$S_{1,2} = 0.208 \pm \sqrt{0.0436 - 0.01} = 0.208 \pm 0.1822; \quad S_1 = 0.0258 \approx 2.6\%, \quad S_2 = 0.3902 \approx 39\%,$$

yəni mühərrikin normal sürüşməsi S_0 = 2.6 %. Kökün alınmış ikinci qiyməti xarakteristikanın dayanıqsız hissəsinə uyğundur.

Mühərrikin kritik sürüşməsi

$$S_{kr} = R_2/x_\Sigma = 0.03/0.3 = 0.1 \quad \text{və ya} \quad S_{kr} = 10\%.$$

U = 1 olduqda maksimal çevirici moment

$$P_{max} = U^2/2x_\Sigma = 1.0/2 \cdot 0.3 = 1.67.$$

Momentə görə ehtiyat

$$k_p = \frac{P_{max} - P_0}{P_0} = \frac{1.67 - 0.8}{0.8} = 1.09.$$

Sürüşməyə görə ehtiyat

$$k_S = \frac{S'_{max} - S'_0}{S'_0} = \frac{10 - 2.6}{2.6} = 2.85.$$

10.10. STATİK DAYANIQLIĞIN ANALİZİ ÜZRƏ NORMATİV VƏ METODİK GÖSTƏRİŞLƏR

Dayanıqlığın analizi dövrü olaraq nəşr olunan metodik rəhbər göstərişlərə müvafiq yerinə yetirilir. Bu göstərişlər elektroenergetika sistemlərinə və onların birliklərinə dayanıqlığın təmin olunması ilə bağlı tələblər qoyur. Eyni zamanda, göstərişlərə en kəsikdən enerji axını anlayışı daxil edilir. Enerji axını sistemin hər hansı iki hissəsini birləşdirən (əlaqələndirən), açılması mümkün olan elementlərdən axan enerjidir. Bu əlaqələrin məcmusu *en kəsik* adlanır. Belə əlaqənin kəsilməsi sistemi bir – birindən izalə olunmuş iki hissəyə bölür.

Enerjisistemin istisamarı zamanı qərarlalşmış rejimlərdə en kəsikdən axan enerjini *normal və məcburi* layihələndirilmə mərhələsində isə *normal* və *ağırlaşdırılmış axınlara* bölürlər.

Normal enerji axınına enerji sisteminin rejim parametrlərinin nominal hədləri çərçivəsində dayanıqlığı təyin edən bütün elemetlərin fəaliyyət göstərdiyi hallarda sistemin hissələri arasında enerji axınları aid edilir. Bu halda daha çox buarxılabilən axın *maksimum buraxılabilən* adlanır.

Məcburi enerji axınına istehlakçılar üçün məhdudiyyətin aradan qaldırılması və azaldılması, su ehtiyyatlarının itirilməsinin qarşısının alınması, enerji ehtiyatlarına qənaət olunması, elektrik stansiya və şəbəkənin əsas avadanlıqlarının qəza və palanlaşdırılmış təmir işlərinin üst-üstə düşməsi və eləcə də yükün minumum rejimlərində atom elektrik stansiyalarının manevr etmə qabiliyyətinin kiafayyət qədər olmaması səbəbindən enerji axınının azaldılmasının mümkün olmadığı hallarında yol verilir. Daha çox buarxılabilən axın *qəza hallarında buraxılabilən* adlanır.

Ağırlaşdırılmış enerji axınına zəruri güc ehtiyatının və olmaması, yükün maksimum və minumum rejimlərində istilik və atom elektrik stansiyalarının avadanlıqlarının kifayət qədər manevr etmə qabiliyyətinin olmaması, həmçinin elektrik stansiya və şəbəkələrinin əsas avadanlıqlarının planlı və qəza təmirlərinin arzu olunmaz şəkildə üst – üstə düşməsi hallarında, əgər belə rejimlərin mövcud olam müddəti il ərzində 10% həddini aşmırsa, yol verilir.

Enerjisistemin dayanıqlığı üzrə qoyulan tələblərə görə nəzərə alınan daha ağır həyacanlandırıcı təsirlər üç qrupa bölünür (10.11 paraqrafında ətraflı baxılır).

Rejimin statik dayanıqlığının ehtiyatı keyfiyyətcə dayanıqlığın aperiodik və ya rəqsi pozulmasının yarandığı sahənin sərhəddinə müvafiq olan iş rejiminin yaxınlığı ilə təyin olunur.

Ehtiyat kəmiyyətcə sistemin en kəsiyində *P* aktiv güc axınına görə K_P və yük düyünündə gərginliyə görə K_U ehtiyat əmsalı ilə xarakterizə olunur. Bu əmsallar üzrə tələblər *cədv. 10.1*-də verilir:

Cədvəl 10.1.

En kəsikdə cərəyan axını	Ehtiyatın minimal əmsalları	
	Aktiv güc üzrə	Gərginlik üzrə
Normal	0.20	0.15
Ağırlaşdırılmış	0.15	0.15
Məcburi	0.08	0.10

Statik (aoeriodik) dayanıqlığın aktiv güc üzrə ehtiyat əmsalı aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$K_P = \frac{P_{max} - (P + \Delta P)}{P_{max}},$$

burada P_{max} – baxılan en kəsikdə aperiodik statik dayanıqlığa görə aktiv
gücün buraxılabilən hədd qiyməti;
P – baxılan rejimdı en kəsikdə axan aktiv güc*, P>0*;
ΔP – en kəsikdə aktiv gücün qeyri – müntəzəm rəqsi hesabına
ötürülən gücün artımını nəzərə alır.

Aktiv gücə görə dayanıqlıq ehtiyyadı adlı vahidlərdə növbəti ifadə ilə müəyyən oluna bilər:

$$\Delta \boldsymbol{P} = \boldsymbol{P}_{max} - (\boldsymbol{P} + \Delta \boldsymbol{P})\ .$$

Aktiv gücün qeyri – müntəzəm rəqslərin amplitudu ölçmələrin nəticələrinə görə müəyyən olunur. Belə verilənlər olmadıqda qeyr-mentəzəm rəqslərin amplitudu aşağıdakı ifadə ilə təyin oluna bilər:

$$\Delta P = K\sqrt{\frac{P_{y1}P_{y2}}{P_{y1}+P_{y2}}},$$

burada P_{y1}, P_{y2}–baxılan en kəsiyin tərəflərində yükün yekun
gücüdür, MVt;
K əmsalı gücün əl ilə tənzimlənməsi zamanı 1,5 və tezliyin və
gücün avtomatik tənzimlənməsi zamanı 0.75 səviyyəsində
qəbul olunur.

Yük düyünündə gərginliyə görə ehtiyat əmsalı aşağıda verilən formul ilə təyin olunur:

$$K_U = \frac{(U - U_{\text{kr}})}{U},$$

burada *U* – ilkin rejimdə yük düyününün gərginliyi;
U_{kr} – düyünün kritik gərginliyidir və bunun qiyməti ən azı
0,7 U_{nom} və $0.75U_{nor}$ (U_{nor} – normal rejimdə düyündəki
gərginlikdir) qəbul edilir.

Yükün düyün nöqtələrində gərginliyə görə normativ ehtiyyatı izləmək üçün istismar təcürbəsində enerjisistemin istənilən düyün nöqtəsində gərginliyin qiymətindən istifadə oluna bilər. Nəzarət olunan düyün nöqtələrində gərginliyin buraxılabilən qiymətləri enerjisistemin rejim hesablamalarının nəticələrinə görə müəyyən olunur.

10.11. ENERJİSİSTEMİN İLKİN REJİMİNİN AĞIRLAŞDIRILMASI

Enerjisistemin statik dayanıqlığına görə yük axınlarının son hədd qiyməti, həmçinin dayanıqlıq ehtiyatı sistemin rejiminin ardıcıl olaraq ağırlaşdırılması ilə təyin olunur. Rejimin ağırlaşdırılması və en kəsikdə enerji axınının son həddinin hesablanması, eyni adlı en kəsikdə enerji axınının son həddinə çatmağa mane olan istənilən qurğunun açılması fərz edilərək yerinə yetirilir (enerji axınının avtomatik olaraq məhdudlaşdırılması, əks – qəza avtomatikası və s.). Enerji axınının son hədd qiyməti, bütün avadanlıqların 20 dəqiqə müddətində ifrat yüklənilməsinin yol verilməsi nəzərə alınmaqla təyin olunur. Bu müddət, həmçinin əməliyyat heyətinə müvafiq texniki və təşkilatı tədbirlərin həyata keçrilməsi üçün nəzərdə tutulur.

Rejimin ağırlaşdırılmasının aşağıda verilən üsulları və ya onların kombinasiyası tövsiyə olunur [4]:

1) elektrik stansiyaları arasında aktiv güclərin yenidən paylanması;
2) daha çox yüklənmiş düyün yarımstansiyalarının yükünün artırılması;
3) sistemin düyünlərində gərginliyin azaldılması.

Birinci üsul, tərkibində uzunluğu böyük olan yaxud daha çox yüklənmiş elektrik verilişi xətti olduqda tətbiq olunur. Bu üsul nəzərdən keçirilən xəttin ötürmə qabiliyyətini təyin etməyə imkan verir. Aperiodik dayanıqlığı qiymətləndirmək üçün $dP/d\delta > 0$ kriterindən istifadə olunur.

Hər bir sistem üçün ötürücü və balanslaşdlrıcı stansiyalar (yaxud onların qrupu) artan aktiv güc axınının tədqiq olunan istiqamətdə olan elektrik verilişi xəttindən ilə yaxud müəyyən en

kəsikdən keçməsi şərtilə seçilir,. Bununla yanaşı ağırlaşdırılan rejimin bu ehtimal trayektoriyasının baxılan enerjisistem üçün nə qədər mümkün olduğunu nəzərə almaq lazımdır.

Konsentirə olunmuş sistemlərin (generasiya stansiyaları və böyük güclü yük düyünlərinin bir – birinə yaxın yerləşən) rejimlərinin ağırlaşdırılması zamanı qəbuledici sistemin əsas düyünlərinin yükünün ağırlaşdırılmasına və ya düyün nöqtələrində gərginliyin aşağı salınmasına baxılır. Bu üsulu yük düyünlərinin statik dayanıqlığının tədqiqində də tətbiq etmək lazımdır. Hər iki halda son hədd rejimi xarakteristik tənliyin sərbəst üzvünün işarəsi ilə yaxud növbəti praktiki kriterilərə görə təyin edilir:

$$\frac{d\Delta Q}{dU} < 0 \quad \text{və ya} \quad \frac{dE}{dU} > 0.$$

Layihə hesablamalarında ardıcıl ağırlaşdırma rejimlərində, avadanlıqların bir hissəsinin ifrat yüklənməsinə yol verilir, lakin dayanıqlığın son hədd qiymətinə yaxınlaşması zamanı ifrat yüklənmə yol veriləndən bir neçə dəfə çox olarsa, bu, seçilmiş ağırlaşdırıcı üsulun qəbuledilməz olduğunu göstərir. Məhdudiyyətin qeydiyyatının vacibliyi haqqında sualı hesablamanın layihə, tədqiqat və ya istismar məqsədləri üçün aparılıdığını təyin etməklə həll etmək lazımdır.

Layihə hesabatlarında bir sıra məhdudiyyətləri nəzərə almamaq olar, çünki çox zaman bəzi amillər, sistemdə ehtiyatın yerləşdirilməsi, ifrat yüklənmənin dəqiq parametrləri və s. məlum olmur. İstismar məsələlərini həll etmək üçün uzun müddətli *istismar məhdudiyyətləri* zamanı dayanıqlığı yoxlamaqla rejimlərin bir sıra (seriya) hesablamaları yerinə yetirmək lazımdır. İstismar məhdudiyyətləri dedikdə maşınların və şəbəkə elementlərinin istilik rejimləri, sistemin göstərilən nöqtəsində gərginliyin səviyyəsi, bəzi elektrik verilişi xətlərində arzu olunan enerji axını, sinxron maşınların malik olduqları reaktiv güc və s. ilə əlaqədar olan məhdudiyyətlər başa düşülür. Əgər sistemin dayanıqlıq həddi əldə olunarsa, o zaman hesabat dayandırılır. Əgər dayanıqlıq həddi əldə olunmayıbsa, lakin məhdudiyyətlərdən hər hansı biri pozulursa, onda istismar məhdudiyyətlərinin verilmiş həddində

rejimlərin hesabatı variasiyası yerinə yetirilə bilər. Əgər bu imkan tükənmişdirsə, onda istismar məhdudiyyəti aradan götürülə bilər və qısamüddətli yol verilən *texniki məhdudiyyətlə* əvəz oluna bilər.

Texniki məhdudiyyət – bu maşınların və transformatorların qısamüddətli mümkün olan ifrat yüklənməsi, gərginliyin qiymətinin qısamüddətli dəyişməsinin yol verilməsi və s.ibarətdir.

Beləliklə, dayanıqlıq ehtiyatının kifayət qədər tam və real qiyməti alınır. Dayanıqlıq ehtiyatı növbəti rejim parametrləri ilə təyin olunur: yükün, xətdə güc axınının, yaxud sistemin düyünündə gərginliyinin yol veriləbilən dəyişməsi.

YOXLAMA SUALLARI

1. Elektrik sisteminin statik, dinamik və yekun dayanıqlığı nə deməkdir?
2. Ötürmə gücünün həddinə görə sistemin elementinin yük ötürmə qabiliyyəti nə deməkdir?
3. Elektrik sisteminin dayanıqlığının hesabatının məsələləri və məqsədi hansılardır?
4. Elementar və mürəkkəb sistemin statik dayanıqlığı necə qiymətləndirilir?
5. TAT qurğusu statik dayanıqlığa necə təsir edir?
6. Özünəyırğalanma nə deməkdir?
7. Məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliyin fiziki mahiyyəti nədən ibarətdir?
8. Yükün statik dayanıqlığı hansı kriterilərlə qiymətləndirilir?

XI FƏSİL

DİNAMİK DAYANIQLIQ

Əgər statik dayanıqlıq sistemin qərarlaşmış iş rejimini xarakterizə edirsə, dinamik dayanıqlığın analizi sistemin böyük həyəcanlanlandırıcı təsirlərdən sistemin sinxron iş rejimini saxlama qabiliyyətini müəyyən edir. *Dinamik dayanıqlıq* – bu sistemin ilkin vəziyyətinin və ya vəziyyətinin böyük həyacanlandırıcı təsirlərdən sonra istismar tələblərinə uyğun bərpaetmə qabiliyyətidir. Əgər böyük həyacanlandırıcı təsirlərdən sonra, sistemin sinxron işi əvvəlcə pozularaq, prosesin sonrakı mərhələsində isə sinxron iş rejimi bərpa olunursa, onda hesab olunur ki, sistem *yekun dayanıqlıq* xassəsinə malikdir. Belə bərpaoolunma sistemin *sərbəst olaraq daxili xassələri* və ya *xususi sistem avtomatikası* hesabına baş verə bilər.

Xarici ədəbiyyatda böyük həyacanlandırıcı təsirlərdən daynıqlığı iki sinifə bölürlər, *keçid dayanıqlığı* (Transient Stability) və *dinamik dayanıqlığı* (Dynamic Stability). Birinci halda, prosesəsə bir-neçə saniyə intervalında baxılır və sistemin xarici vasitələrin təsiri nəzərə alınmadan enerjisistemin özünün ilkin və ya ona yaxın rejiminin bərpaetmə qabiliyyəti, ikinci halda isə xarici vasitələrin (avtomatik idarəetmə və tənzimlənmə sistemlərinin və s) fəaliyyəti nəzərə alınmaqla sistemin özününü bərpaetmə qabiliyyəri kimi

baxılır. Bu halda idarəetmə və tənzimlənmə vasitələrinin dinamik xarakteristikalarının nəzərə alınması tələb olunur.

Böyük həyəcanlandırıcı təsirlər müxtəlif qısaqapanmalar, elektrik verilişi xəttinin, generatorların, transformatorların və s. açılması zamanı yaranır. Böyük həyəcanlanmalara həmçinin böyük yüklərin gücünün dəyişdirilməsi, hər hansı bir generatorun təsirlənməsinin itirməsi, böyük güclü mühərriklərin qoşulmasını aid etmək olar. Yaranan həyəcanlanmaların nəticələrindən biri kimi, generatorların rotorlarının fırlanma sürətlərinin sinxron surətdən meyletməsini - sistemin generatorlarının rotorlarının yırğalanmasını göstərmək olar.

Əgər hər hansı bir həyəcanlanmadan sonra rotorların qarşılıqlı bucaqları müəyyən bir qiymət alarsa (onların rəqsi hər hansı bir yeni qiymətin yaxınlığında sönəndirsə), onda hesab olunur ki, dinamik dayanıqlıq təmin olunur. Əgər hər hansı bir generatorun rotoru statorun sahəsinə nəzərən dönməyə başlayacaqsa, bu dinamik dayanıqlığın pozulmasının əlamətidir. Ümumi halda sistemin dayanıqlığı haqqında generatorların rotorlarının hərəkət tənliklərinin birgə həlli nəticəsində alınmış $\delta = f(t)$ asılılığına görə fikir söyləmək mümkündür. Lakin, dinamik dayanıqlığın analizinin energetik yanaşmaya əsaslanan daha sadə və əyani metodu mövcuddur, bu qrafik və ya sahələr metodu [15, 24, 35] adlanır. Daha ciddi metod hesab olunan energetik yanaşma müəllif tərəfindən əsaslandırılmış sistemin potensial enerjisinin analizinə əsaslanır.

11.1. ELEMENTAR SİSTEMİN DİNAMİK DAYANIQLIĞININ QRAFİK METODLA ANALİZİ

Sonsuz güc şini və ikidövrəli xətt vasitəsilə işləyən G elektrik stansiyası kimi sadə bir hala baxaq (*şək. 11.1*, *a*). Sistemin şinlərində gərginliyin sabit olması (U = const) şərti qəbuledici sistemin generatorlarının yırğalanmasını istisna edir və dinamik dayanıqlığın analizini xeyli sadələşdirir. Sistemin əvəz sxemi *şək. 11.1*, *b*-də göstərilib. Əvəz sxeminə generator x'_d müqaviməti və E'_q EHQ-si ilə daxil edilib. Generatorun sistemə verdiyi güc turbinin gücünə bərabərdir və P_0 ilə işarələnmişdir, generatorun bucağı – δ_0 ilə

işarələnib. Normal (qəzaya qədərki) rejimə müvafiq olan güc xarakteristikası ikinci harmonika nəzərə alınmadan (10.10) ifadəsindən alına bilər ki, bu praktiki hesablamalarda tamamilə yol veriləndir. $E'_q = E'$ qəbul edərək güc xarakteristikası üçün aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$P = \frac{E'U}{x'_{d\Sigma}} \sin\delta, \qquad (11.1)$$

Normal rejim üçün $P = f(\delta)$ asıllığı *şək. 10.1*, *ç*-də (əyri 1) verilib.

Fərz edək ki. *X*2 xətti qəflətən açılıb. Onun açılmasından sonra generatorun işləməsinə baxaq. Xətt açıldıqdan sonra sistemin əvəz sxemi şəkil 10.1, *c* –də verilib. Qəzadan sonrakı rejimin ümumi müqaviməti $x'_{d\Sigma(\mathbf{q.s})} = x'_d + x_{T1} + x_{x1} + x_{T2}$ normal rejimin ümumi müqaviməti $x'_{d\Sigma}$ –yə nəzarən artacaqdır. Qəzadan sonrakı rejimdə *(şəkil. 11.1, ç,* əyri *2)* güc xarakteristikasının maksimumunun azalmasına səbəb olacaq. Xəttin qəflətən açılmasından sonra gücün *1*-dən *2* xarakteristikasına keçidi baş verir. Rotorun ətaləti səbəbindən δ bucağı ani olaraq dəyişə bilməz, ona görə də işçi nöqtə *a* nöqtəsindən *b* nöqtəsinə yerini dəyişir.

Xətt açıldıqdan sonra turbinlə generatoru birləşdirən valda turbinin xəttin açılmasından sonra dəyişməyən gücü ilə, generatorun yeni gücü arasında olan fərqlə ($\Delta P = P_0 - P_{(0)}$) təyin olunan izafi moment yaranır. Bu fərqin təsiri altında maşının rotoru sürətlənməyə başlayaraq böyük δ bucağı tərəfə hərəkət etməyə başlayır. Bu hərəkət sinxron sürətlə fırlanan rotorun sürəti üzərinə əlavə olunur və rotorun yekun fırlanma sürəti $\omega = \omega_0 + \Delta\omega$ olur:

burada ω_0 – sinxron fırlanma sürəti;

$\Delta\omega$ – nisbi sürətdir.

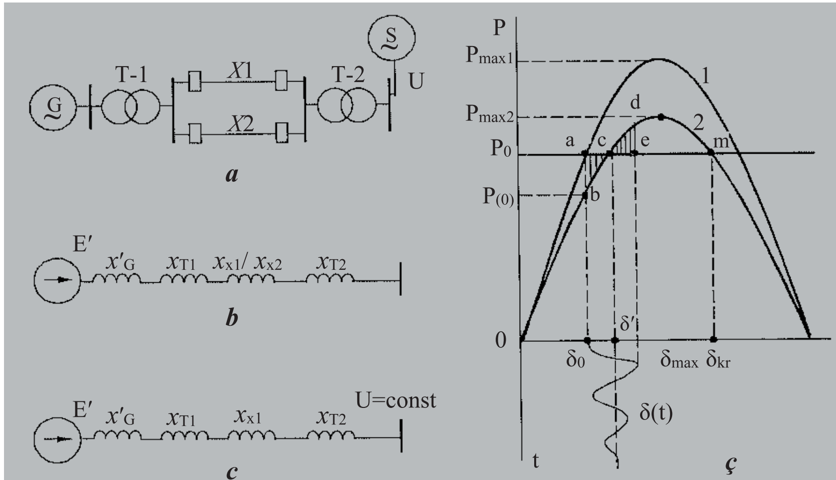
Rotorun sürətlənməsi nəticəsində işçi nöqtə 2 xarakteristikası üzrə hərəkət etməyə başlayır. Generatorun gücü artır, izafi (sürətləndirici) moment isə ($\Delta P = P_0 - P_{(0)}$) fərqinə mütənasib) azalır. Nisbi sürət $\Delta\omega$ artaraq *c* nöqtəsinə çatır. *c* nöqtəsində izafi moment sıfıra bərabər olur, $\Delta\omega$ sürəti isə maksimuma çatır. Rotorun ω sürəti ilə hərəkəti *c* nöqtəsində qurtarmır, rotor öz ətalətinə görə bu nöqtəni keçir və hərəkətini davam etdirir. Lakin yaranmış izafi moment

işarəsini dəyişir və rotoru tormozlamağa başlayır. Fırlanmanın nisbi sürəti azalmağa başlayır və *d* nöqtəsində sıfıra bərabər olur. δ bucağı bu nöqtədə özünün maksimum qiymətinə çatır. Lakin *d* nöqtəsində də rotorun nisbi hərəkəti qurtarmır, ona görə ki, aqreqatın valına izafi tormozlayıcı moment təsir edir. Odur ki, rotor *c* nöqtəsinə tərəf hərəkət etməyə başlayır və bu zaman nisbi sürət mənfi olur. *c* nöqtəsini rotor öz ətalətinə görə keçir, *b* nöqtəsi yaxınlığında minimum olur və nisbi hərəkətin yeni tsikli başlayır. δ (t) bucağının rəqsi *şəkil 11.1*, *ç*-də göstərilib. Rəqsin sönməsi rotorun nisbi hərəkəti zamanı enerji itkiləri ilə izah olunur.

İzafi moment və izafi güc arasındakı əlaqə aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$\Delta M = \frac{\Delta P}{\omega},$$

burada ω – rotorun yekun fırlanma sürətidir.



Şəkil 11.1. Elementar sistemin dinamik dayanıqlığının analizi üçün: a – prinsipial sxemi; b – normal rejimdə əvəz sxemi; c – qəzadan sonrakı rejimdə əvəz sxemi; ç – dinamik keçidin qrafik təsviri: normal və qəzadan sonrakı rejimlərin xarakteristikaları (əyrilər 1, 2 – müvafiq olaraq), burada $x'_{d\Sigma} = x'_d + x_{T1} + x_{x1} // x_{x2} + x_{T2}$.

Yırğalanma zamanı ω_0 sürətinə nəzərən sürətin $\Delta\omega$ qədər dəyişməsi çox kiçik olduğundan təcrübədə kifayət qədər dəqiqliklə $\omega \cong \omega_0$ qəbul etmək olar və onda ΔM, ΔP, ω_0 nisbi vahidlərdə ifadə edərək $\Delta M_* = \Delta P/\ \omega_0 = \Delta P_*$ alarıq, çünki $\omega_0 = 1$-dir. Rotorun yalnız nisbi hərəkətinə və bu hərəkət zamanı yerinə yetirdiyi işə baxaraq fərz etmək olar ki, rotorun olduqca kiçik $d\delta$ bucağı qədər yerdəyişməsi zamanı yaranmış izafi moment $\Delta M/\ d\delta$ elementar işi yerinə yetirir. İtki olmayan hallarda bütün iş rotorun nisbi hərəkətinin kinetik enerjisinin dəyişməsinə sərf olunr.

İzafi moment rotorun fırlanmasını sürətləndirən zaman rotorun yığdığı ehtiyat kinetik enerji aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$F_{sur} = \int_{\delta_0}^{\delta_0'} \Delta P d\delta = f_{abc},$$

burada f_{abc} – *şək. 11.1, ç*-də *abc*-nin ştrixlənmiş sahəsidir. Tormozlama zamanı kinetik enerjinin dəyişməsi aşağıdakı kimi hesablanır

$$F_{\text{torm}} = \int_{\delta_0'}^{\delta_M} \Delta P d\delta = f_{cde}.$$

Burada f_{abc} və f_{cde} sahələri sürətlənmə tormozlamanın kinetik enerjisinə

mütənasib olub sürətləndirmə və tormozlama sahələri adlanırlar.

Tormozlama zamanı rotorun kinetik enerjisi potensial enerjiyə keçir və o $\Delta\omega$ sürəti azaldıqca artmağa başlayır. *d* nöqtəsində kinetik enerji sıfıra bərabər olur və rotorun meyletmə bucağının maksimumunu δ_M-i təyin etmək üçün aşağıda verilən şərtin ödənilməsi kifayətdir:

$$F_{\text{sur}} = F_{torm} = 0.$$

Buradan görünür ki, maksimum meyletmə bucağı zamanı sürətləndirmə sahəsi tormozlama sahəsinə bərabər olmalıdır. Tormozlama sahəsinin maksimum olmasının mümkünlüyü δ_{kr} bucağı ilə təyin olunur. Əgər maksimal bucaq δ_{kr} bucağından çox olarsa, onda turbin – generator valında sürətləndirici izafi moment ($P_0 > P_G$) yaranır və generator sinxronizmdən düşür. *Şək. 11.1, ç* –də *cdm* sahəsi sürətlənmənin maksimal mümkün olan sahəsidir. Onu təyin edərək dinamik dayanıqlığın ehtiyatını qiymətləndirmək olar. Ehtiyat əmsalı aşağıdakı formul ilə hesablanır:

$$K_{\text{eh}} = \frac{F_{cdm} - F_{abc}}{F_{abc}} 100\%.$$

11.2. XƏTDƏ QQ ZAMANI DİNAMİK DAYANIQLIQ

Elektroenergetika sistemlərinin dinamik dayanıqlığın analizinin aparılmasının vacibliyini şərtləndirən əsas səbəblərindən biri, həyəcanlandırıcı təsirlərin ən geniş yayılmış növü olan qısaqapanmalardır. Simmetrik QQ zamanı elektrik şəbəkəsinin simmetrik qərarlaşmış rejimin müvafiq əvəz sxemindən, qeyri simmetrik QQ halında isə 5-ci fəsildə baxılan kompleks əvəz sxemlərindən istifadə olunur. *L2* xəttinin əvvəlindəki (*şək 11.2, a*-da *K1* nöqtəsi) qeyri – simmetrik QQ-nın ümumi halına baxaq. QQ rejimi üçün sistemin əvəz sxemi *şək. 11.2, b*-də göstərilib. *K1* nöqtəsinə, qeyri – simmetrik QQ cərəyanlarının hesabatı qaydası ilə təyin olunmuş (5 – ci bölməyə bax) $x_{\Sigma 2}$ və $x_{\Sigma 0}$ – əks və sıfır ardıcıllıqlı müqavimətlərin cəmindən ibarət olan $x_{\Delta}^{(n)}$ qısaqapanmasının şuntlayıcı müqaviməti eninə qoşulmuşdur. Uzununa qeyri – simmetriklik yarandıqda fazın qırılan və ya açılan nöqtələr arasına düz ardıcıllığın əvəz sxeminə şunt müqaviməti uznuna qoşulur [25]:

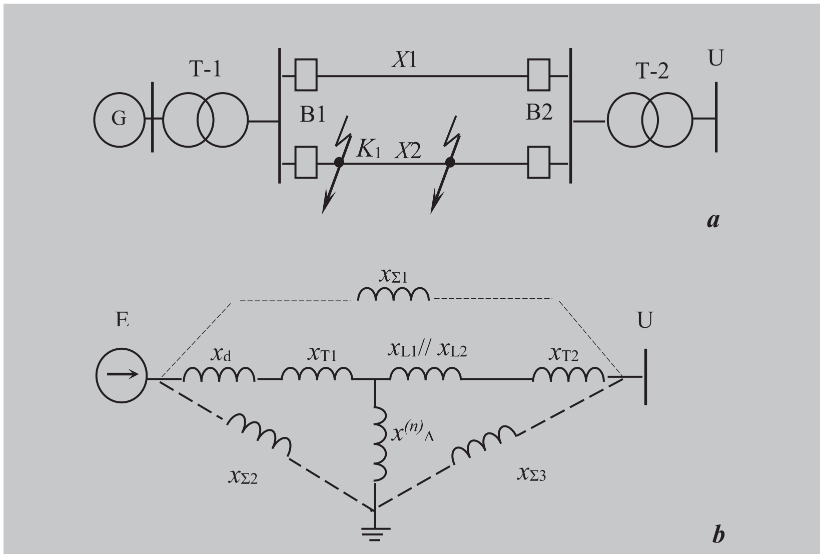
- bir fazın qırılması (açılması) halında, $x_{\Delta L}^{(1)} = (x_{L2\Sigma}\, x_{L0\Sigma})/(x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma})$ və
- iki fazın qırılması (açılması) halında isə $x_{\Delta L}^{(2)} = x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}$.

Qısaqapanma yarandıqdan sonra generatordan sistemə verilən güc, eyni ilə də generatoru sistemlə əlaqələndirən $x_{\Sigma 1}$ ümumi

müqaviməti dəyişəcəkdir. Bu qarşılıqlı müqavimət eneinə qeyri – simmetrik QQ halı üçün tərtib olunmuş əvəz sxemindən (*şək. 11.2, b*) təyin oluna bilər:

$$x_{\Sigma 1}=\left(x'_d+x_{T1}\right)+\left(x_{x1}//x_{x2}+x_{T2}\right)+\frac{\left(x'_d+x_{T1}\right)\left(x_{x1}//x_{x2}+x_{T2}\right)}{x_{\Delta}^{(n)}}. \quad (11.2)$$

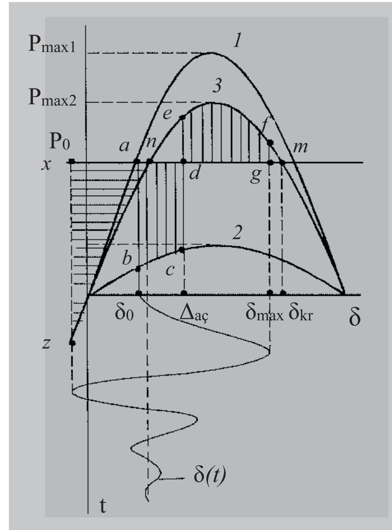
$x_{\Sigma 2}$ və $x_{\Sigma 3}$ müqavimətlərini də oxşar ifadələrdən ulduzdan üçbucağa çevirmə aparmaqla təyin etmək olar, lakin onlar qəza rejimində generatorun gücünün qiymətinə təsir etmir və nəzərə alınmaya bilərlər. Güc xarakteristikasının (10.1) ifadəsində $x_{\Sigma 1}$ müqavimətini yerinə qoyaraq normal və qəzadan sonrakı rejimlərin xarakteristikasından aşağıda yerləşən sinusoidanı alarıq. Bu $x_{\Sigma 1}$ müqavimətinin artması ilə əlaqədardır.



Şəkil 11.2. Elementar sistemdə qısaqapanma: a – prinsipial sxemi; b – K1 nöqtəsində QQ rejimi üçün əvəz sxemi.

QQ anında sxemin parametrlərinin dəyişilməsi səbəbindən güc xarakteristikasının birindən digərinə keçidi baş verir (*şək. 11.3*).

Rotor müəyyən inersiyaya malik olduğundan δ bucağı ani olaraq dəyişə bilməz və generatorun verdiyi güc $P_{(0)}$ –a (*b* nöqtəsi) qədər azalacaq. Turbinin gücü, onun tənzimləyicisinin gecikməsi səbəbindən dəyişməyəcəkdir. Turbin – generator rotor valında $\Delta P = P_0 - P_{(0)}$ izafi güclə təyin olunan izafi moment yaranır. Bu momentin təsiri altında generatorun rotoru sürətlənməyə başlayır və δ bucağı artır. Proses keyfiyyətcə, bundan əvvəlki halda, xəttin qəflətən açılma halında olduğu kimi gedir.



Şəkil 11.3. Qeyri – simmetrik QQ zamanı dinamik kecid.

Enerji sisteminin digər elementində olduğu kimi, *X2* elementində də mühafizə mövcuddur və müəyyən vaxtdan sonra A1 və A2 açarları ilə açılır. Bu müddət aşağıdakı formul ilə hesablanır:

$$t_{acm} = t_{muh} + t_{ac},$$

burada $t_{müh}$ – mühafizənin işləməsinin məxsusi müddəti;

$t_{aç}$ – A1 və A2 açarlarının işləmə müddətləridir (açarların eyni bir vaxtda işləməsi nəzərdə tutulur).

Açma müddəti QQ-nın açılma bucağı $\delta_{aç}$ uyğundur. QQ-nin açılması qəza rejiminin güc xarakteristikasının *2*-dən, qəzadan sonrakı rejimin *3* –xarakteristika sına keçməsinə səbəb olur. Bu zaman yaranmış izafi moment işarəsini dəyişəcək sürətləndiricidən tormozlayıcıya çevrilir.

Rotor tormozlanaraq sürətləndirmə prosesində yığdığı kinetik enerjinin təsiri altında bucağın artması tərəfə doğru hərəkət etməkdə davam edir. Bu hərəkət o müddətə qədər davam edir ki, tormozlama f_{defg} sahəsi sürətləndirmə sahəsinə f_{abcd}-yə bərabər olsun. *f* nöqtəsində rotorun sürəti sinxron olur.

Lakin, rotorun hərəkəti dayanmır, ona görə ki, ona $\Delta P_{\text{torm}} = P_f - P_0$ izafi güclə təyin olunan tormozlayıcı izafi moment təsir edir. Rotor sürətlənərək əks tərəfə hərəkət etməyə başlayır. Onun sürəti *n* nöqtəsində maksimum olur. *n* nöqtəsindən sonra nisbi sürət azalmağa başlayır və *z* nöqtəsində sıfıra bərabər olur. İtkilərin mövcud olması səbəbindən rotorun rəqsi qəzadan sonrakı rejimin bərabərliyinin yeni vəziyyəti (*n* nöqtəsi) ətrafında sönəcəkdir.

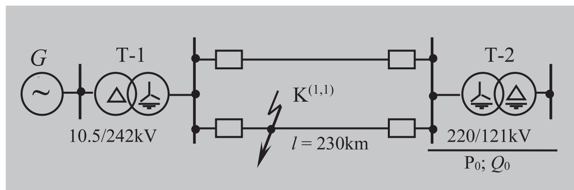
M ə s ə l ə 10.1. Şəkildə göstərilən elektrik verilişində K nöqtəsində qəflətən yerlə QQ yaranır. t_1 anında o üçfazalıya keçir, t_2 anında isə zədələnmiş xətt açılır.

İlkin rejimin parametrləri və elektrik verilişinin parametrləri S_b = 220MVA və 220kV pilləsində bazis gərginliyi U_b = 209kV olduqda aşağdakılardır: $P_0 = 1$, $Q_0 = 0,2$, $U_c = 1$, $x'_d = x_G = 0,295$, $x_{T1} = 0,122$, $x_L = 0,244$ (iki dövrə üçün), $x_{L0} = 0,732$, $T_{j*b} = 8,18$san.

Təyin etməli:
əgər t_1 zaman anı 50^0 bucağa və t_2 – 70^0 bucağa uyğun olarsa, dinamik dayanıqlıq saxlanılacaqmı?

H ə l l i. Normal rejim üçün əvəz sxemini tərtib edək və keçid reaktiv müqavimətin-
dən sonra generatorun EHQ –ni təyin edək.

Sistemin cəmi müqavimətini hesablayaq:



$$\mathbf{x}'_{\mathbf{d\Sigma1}} = x'_d + x_{T1} + x_L + x_{T2} = 0.295 + 0.138 + 0.244 + 0.122 = 0.799.$$

Keçid müqavimətindən sonrakı keçid EHQ – nin fazasını və qiymətini aşağıdakı formul ilə hesablayaq:

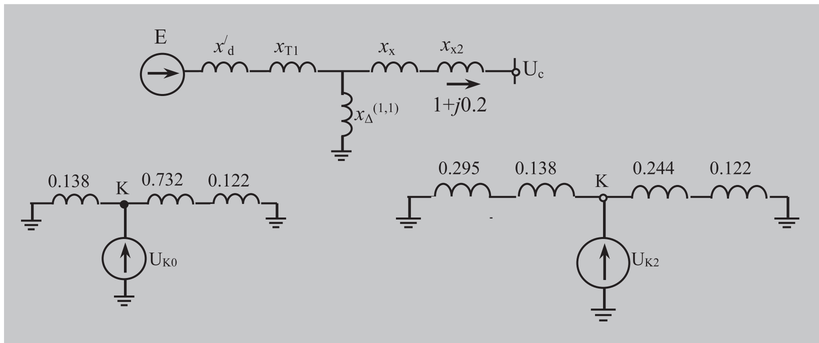
$$E'_0 = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 x'_{d\Sigma1}}{U_0}\right)^2 + \left(\frac{P_0 x'_{d\Sigma1}}{U_c}\right)^2}.$$

Formulda ədədi qiymətləri yerinə yazsaq, aşağıdakını alarıq:

$$E_0^{/} = \sqrt{\left(1+\frac{0.2+0.799}{1}\right)^2+\left(\frac{1\cdot 0.799}{1}\right)^2} = \sqrt{1.16^2+0.799^2} = 1.41;$$

$$tg\delta_0^{/} = \frac{0.799}{1.16} = 0.688; \quad \delta_0^{/} = 34.5^0.$$

Elektrik verilişinin düz, əks və sıfır ardıcıllığının əvəz sxemləri aşağıda verilmişdir



Normal rejim üçün güc xarakteristikasının amplitudunu aşağıdakı ifadədən tapaq:

$$P_{\max 11} = \frac{E_0^{/} U_c}{x_{d\Sigma 11}^{/}},$$

burada $x_{d\Sigma 11}$ – qəza rejimində sxemin qarşılıqlı müqavimətidir:

$$x_{d\Sigma 11}^{/} = \left(x_d^{/}+x_{T1}\right)+\left(x_x+x_{T2}\right)+\frac{\left(x_d^{/}+x_{T1}\right)\left(x_x+x_{T2}\right)}{x_\Delta^{(1,1)}},$$

$$x_\Delta^{(1,1)} = \frac{x_{2\Sigma} x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}$$

burada

$$\boldsymbol{x}_{2\Sigma} = \frac{(\boldsymbol{x}_G + \boldsymbol{x}_{T1})(\boldsymbol{x}_x + \boldsymbol{x}_{T2})}{\boldsymbol{x}_G + \boldsymbol{x}_{T1} + \boldsymbol{x}_x + \boldsymbol{x}_{T2}}; \quad \boldsymbol{x}_{0\Sigma} = \frac{\boldsymbol{x}_{T1}(\boldsymbol{x}_{x0} + \boldsymbol{x}_{T2})}{\boldsymbol{x}_{T1} + \boldsymbol{x}_{x0} + \boldsymbol{x}_{T2}}$$

$$x_{0\Sigma} = \frac{0.138(0.732 + 0.122)}{0.138 + 0.732 + 0.122} = 0.12; \quad x_{\Delta}^{(1,1)} = \frac{0.198 \cdot 0.12}{0.198 + 0.12} = 0.072,$$

$$x'_{d\Sigma 11} = 0.295 + 0.138 + 0.244 + 0.122 + \frac{(0.295 + 0.138)(0.244 + 0.122)}{0.072} = 2.97,$$

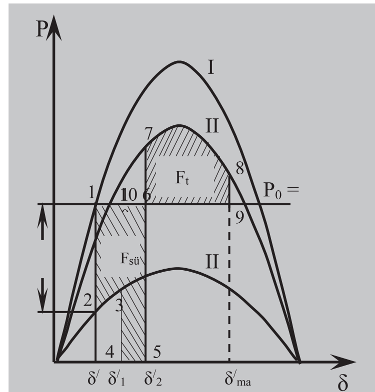
$$P_{\max 11} = \frac{1.41 \cdot 1}{2.97} = 0.47.$$

Qəzadan sonrakı rejim elektrik verilişi xəttinin bir dövrəsinin açılması ilə təyin edilir, bundan sonra x_L ikiqat artırılır və elektrik verilişinin ümumi müqaviməti tapılır:

$$x'_{d\Sigma 111} = 0.95 + 0.138 + 0.488 + 0.122 = 1.04.$$

Qəzadan sonrakı rejimin güc xarakteristikasının amplitudu

$$P_{\max 111} = \frac{1.41 \cdot 1}{1.04} = 1.35.$$



Güc xarakteristikası şəkildə verilib.

Sürətləndirmə və tormozlama sahələrini quraq. İkifazalı QQ zamanı generatorun verdiyi gücün III xarakteristikasında 2 nöqtəsinə qədər azalmasını tapırıq.

Yaranmış $\Delta M_0 \cong \Delta P_0$ artıq momentin təsiri altında generatorun rotoru sürətlənəcəkdir.

Üçfazalı QQ zamanı t_1 anında (δ'_1 bucağına uyğundur) generatorun verdiyi güc sıfıra qədər azalır.Turbinin momentinə bərabər olan tam izafi momentin təsiri altında rotor sürətlənməkdə davam edir.

Xəttin açılmasından sonra t_2 anında (δ'_2 bucağına uyğundur) generatorun verdiyi güc, qəza– dan sonrakı rejimin II xarakteristikasına 7 nöqtəsində olan qiymətə qədər artır.
Burada generatorun verdiyi elektrik gücü turbinin yaratdığı gücdən çox olur, lakin δ' bucağı rotorun yığdığı enerjidən müvafiq olaraq artmaqda davam edərək 8 nöqtəsinə (δ_{max}) çatır. Burada sürətlənmə prosesində rotorun yığdığı kinetik enerji onun tormozlanması zamanı tamamilə sərf olunur. Buna sürətlənmə və tormozlama sahələ – rinin bərabərliyi ($F_{sür}=F_{tor}$) uyğundur. Sonra δ' bucağı azalmağa başlayır. Rotorun bir neçə dəfə yırğalan – masından sonra qəzadan sonrakı rejimin II xarak – teristikasında 10 nöqtəsi ilə təyi n olunan yeni rejim yaranır.

Tormozlanmanın mümkün olan 6 – 7 – 8 – 9 – 6 sahəsinin, sürətlənmənin 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 1 sahəsinə olan nisbəti dayanıqlıq ehtiyatı əmsalını verir.

11.3. QISAQAPANMANIN AÇILMA BUCAĞININ SON HƏDD QİYMƏTİNİN TƏYİN OLUNMASI

11.3 şəklindən QQ-nın açılma bucağının elə hədd qiymətini tapmaq olar ki, həmin qiymətdə sistemin dayanıqlı işi təmin olunsun. Bu qiymət f_{abcd} sürətlənmə sahəsinin və f_{defm} tormozlama sahələrinin bərabərliyindən təyin olunur. Bu sahələrin cəmini sıfıra bərabər edərək QQ-nın açılma bucağının son hədd qiyməti üçün analitik ifadə alarıq:

$$f_{abcd} = f_{defm} = \int_{\delta_0}^{\delta_{ac.hedd}} \left(P_0 - P_{\max 2}\sin\delta\right)d\delta + \int_{\delta_{ac.hedd}}^{\delta_{kr}} \left(P_0 - P_{\max 3}\sin\delta\right)d\delta = 0.$$

Burada, P_{max2} – güc xarakteristikasının QQ zamanı amplitudu,
P_{max3} - QQ açıldıqdan sonrakı amplitududur.

Müəyyən inteqralları açaraq aşağıdakını yaza bilərik:

$$P_0\left(\delta_{ac.hedd} - \delta_0\right) + P_{\max 2}\left(\cos\delta_{ac.hedd} - \cos\delta_0\right) + P_0\left(\delta_{kr} - \delta_{ac.hedd}\right) + \\ + P_{\max 3}\left(\cos\delta_{kr} - \cos\delta_{ac.hedd}\right) = 0.$$

Buradan

$$\cos\delta_{ac.hedd} = \frac{P_0\left(\delta_{kr} - \delta_0\right) + P_{\max 3}\cos\delta_{kr} - P_{\max 2}\cos\delta_0}{P_{\max 3} - P_{\max 2}}. \qquad (11.3)$$

$$\delta_{kr} = \pi - \arcsin\frac{P_0}{P_{\max 3}}$$

(bütün bucaqlar radianda ifadə olunub).
Sonuncu ifadədə δ_0 və $\delta_{kr} = \pi - \delta_{03} = \pi - arcsin\ (P_0/P_{max3})$ əvəzləyək $cos\delta_{aç}$ və $\delta_{aç}$ bucağını təyin edə bilərik.

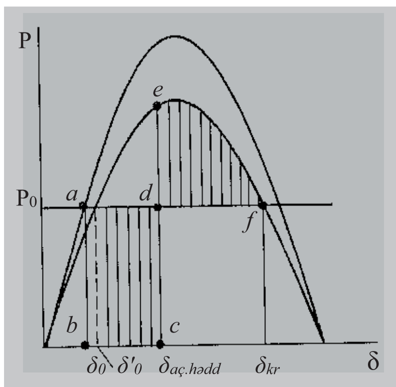
Üçfazlı qq-nın açılmasının sərhəd (hədd) qiyməti sadələşmsini qəbul etməklə, (11.3) ifadəsindən növbəti bərabərlik əldə oluna bilər:

$$\boldsymbol{cos\,\delta_{aç.heddi}} = \frac{\boldsymbol{P}_0\left(\boldsymbol{\delta_{kr}} - \boldsymbol{\delta}_0\right) + \boldsymbol{P_{max\,3}}\,\boldsymbol{cos\,\delta_{\kappa r}}}{\boldsymbol{P_{max\,3}}}\ . \qquad (11.3.a)$$

Lakin praktiki məqsədlər üçün $\delta_{aç.hədd}$ bucağını bilmək kifayət deyil. Açarın seçilməsi və rele mühafizəsinin hesablanamsı zamanı bucağı yox, rotorun bucağın son açma həddinə çata biləcəyi müddəti təyin etmək tələb olunur. Bu, sahələr metodu ilə mümkün olmadığına görə, , QQ-nın açılma müddətinin yol verilən son hədd qiymətini (buraxıla bilən son açma müddətini) tənliklərin həllinin məlum metodu ilə, generatorun rotorunun hərəkət tənliyini həll etməklə təyin oluna bilər (məs. Runqe – Kuttanın 4-cü tərtibli metodu yaxud ardıcıl intervallar metodu ilə təyin etmək olar).

11.4. ÜÇFAZALI QQ-nın QRAFİK METODLA ANALİZİ

K nöqtəsində üçfazalı QQ zamanı sxemin qarşılıqlı müqaviməti son dərəcə böyük olur. Çünki QQ şuntunun müqaviməti $x_\Delta^{(3)} = 0$-dır. Bu səbəbədn qəza rejiminin güc xarakteristikası absis oxu ilə üst – üstə düşür (*şək. 11.4*).Generatorun rotoru turbinin mexaniki momentinə bərabər olan izafi momentin təsiri altında özünün nisbi hərəkətinə başlayır. Bu zaman rotorun hərəkətinin diferensial tənliyi aşağıdakı şəkli alır:



Şəkil 11.4. Xəttin əvvəlində üçfazalı qısaqapanma halı üçün

$$T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_0. \qquad (11.4)$$

Bu tənlik xəttidir və onu həll etmək çətin deyil. (11.4) aşağıdakı şəkildə yazaq:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{P_0}{T_j},$$

buradan, sol və sağ tərəfin inteqralını alsaq

$$\omega = \frac{P_0}{T_j} t + c_1, \qquad (11.5)$$

$t = 0$ olduqda rotorun nisbi sürəti $\omega = 0$ və $c_1 = 0$ olur. Təkrarən (11.5) ifadəsini inteqrallayarq növbəti ifadəni alarıq:

$$\delta = \frac{P_0}{T_j} \frac{t^2}{2} + c_2.$$

İnteqrallama sabiti c_2, $\delta = \delta_0$ şərtindən təyin olunur, $t = 0$ olduqda $c_2 = \delta_0$ olur. Bunları nəzərə alaraq bucağın zamandan asılılığının növbəti şəkildə ifadə edə bilərik:

$$\delta = \frac{P_0}{T_j} \frac{t^2}{2} + \delta_0. \qquad (11.6)$$

Bucağın artması kvadratik parabola üzrə gedir, δ bucağının hər hansı qiymətinə uyğun olan zaman isə (10.6) formulu ilə təyin olunur:

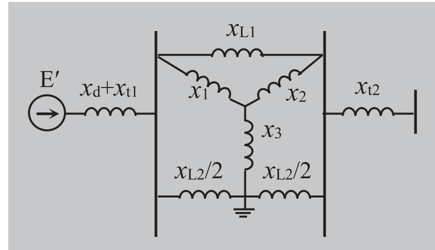
$$t=\sqrt{\frac{2T_j\left(\delta-\delta_0\right)}{P_0}}. \qquad (11.7)$$

Üçfazlı QQ-nın açılma bucağının son həddi (11.3) ifadəsindən $P_{\max 2}=0$ sadələşdirilmə şərti ilə təyin oluna bilər:

$$\cos\delta_{ac.hedd}=\frac{P_0\left(\delta_{kr}-\delta_0\right)+P_{\max 3}\cos\delta_{kr}}{P_{\max 3}}.$$

Üçfazalı QQ zamanı açılma müddətinin son həddi (11.7) ifadəsi ilə təyin olunur:

$$t_{ac.hedd}=\sqrt{\frac{2T_jP_0\left(\delta_{ac.hedd}-\delta_0\right)}{P_0}}.$$



Şəkil 11.5. Əvəz sxemi və onun üçfazalı QQ xəttin ortasında olan halı üçün çevrilməsi

Üçfazalı QQ xəttin əvvəlində də yox, digər hisələrində baş verirsə (məs.onun ortasında), onda qarşılıqlı müqavimətin tapılma şərti dəyişəcəkdir . O, artıq sonlu kəmiyyətdir və *şək. 11.5*-də göstərilən sxemlə təyin edilir. Xəttin x_{L1}, $x_{L2}/2$ müqavimətlərindən ibarət olan üçbucağı x_1, x_2, x_3-dən təşkil olunan ulduza çevirəcək *şək. 10.2, b* - də təsvir olunan qeyri – simmetrik QQ üçün olan sxemə oxşar olan generatorun sistemlə əlaqə sxemini alarıq. Bu halda dinamik keçid qeyri – simmetrik QQ zamanı olan keçidə oxşardır.

11.5. GENERATORUN ROTORUNUN HƏRƏKƏT TƏNLİYİNİN HƏLLİ. ARDICIL İNTERVALLAR METODU

Rotorun hərəkət tənliyi qeyri – xəttidir və ümumi halda həll oluna bilməz. Eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, tam yükün açılması ilə müşahidə olunan, yəni $P_{qəza\ max} = 0$ qəza halları istisna təşkil edir. (10.7) tənliyi ədədi inteqrallama metodu ilə həll olunur [14]. Bunlardan biri prosesin gedişini fiziki şəkildə təsvirinə imkan verən *ardıcıl intervallar metodudur*. Bu metoda uyğun olaraq *generatorun rotorunun yırğalanmasının bütün prosesi Δt zaman intervallarına bölünür və bunların hər biri üçün Δδ bucaq artımı hesablanır*. Qısaqapanma anında generatorun sistemə verdiyi güc aşağı düşür və $P_{(0)}$ izafi gücü yaranır. Kiçik Δt intervalı üçün qəbul etmək olar ki, bu interval müddətində izafi güc dəyişməz qalır. (10.7) ifadəsini inteqrallayaraq birinci intervalın sonunda aşağıdakını alarıq:

$$\frac{d\delta}{dt} = \Delta V_{(1)} = \alpha_{(0)}\Delta t + c_1, \quad \delta_{(0)} = \alpha_{(0)}\frac{\Delta t^2}{2} + c_2.$$

Qısaqapanma anında rotorun nisbi sürəti sıfıra bərabərdir ($c_1 = 0$), ona görə də birinci intervalın sonunda rotorun nisbi sürəti $\Delta V_{(1)}$ -ə bərabərdir. $t = 0$ qiymətində bucaq $\delta = \delta_0$, ona görə də $c_2 = \delta_0$. α_0 təcili (10.4) ifadəsi ilə hesablana bilər:

$$\alpha_{(0)} = \Delta P_{(0)} / T_j ,$$

buradan

$$\Delta\delta_{(1)} = \left(\Delta P_{(0)} / T_j\right)\frac{\Delta t^2}{2}.$$

Burada bucaq, zaman və inersiya sabiti radianla verilib. Praktiki hesabatlarda bucaq dərəcə ilə, zaman və inersiya sabiti isə saniyə ilə ifadə olunur:

$$\delta_{(der)} = \frac{360_{(der)} f_{(1/san)}}{\omega_{0(rad/san)}} \delta_{(rad)}, \qquad (11.8)$$

$$t_{(san)} = t_{(rad)} / \omega_{0(rad/san)}. \qquad (11.9)$$

(11.8) və (11.9)-dan istifadə edərək və nəzərə alaraq ki,

$$T_{j(san)} = T_{j(rad)} / \omega_{0(rad/san)},$$

Onda növbəti ifadəni alırıq

$$\delta_{(1)} = \delta_0 + \frac{360 f \Delta t^2}{T_j} \frac{\Delta P_{(0)}}{2} = \delta_0 + K \frac{\Delta P_{(0)}}{2},$$

burada

$$K = \frac{360 f \Delta t^2}{T_j}. \qquad (11.10)$$

İkinci intervalda yaradılan təcil birinci intervalın sonundakı $\Delta P_{(1)}$ izafi gücə mütənasibdir. İkinci interval müddətində bucaq atımını hesablayarkən bu intervalda $\alpha_{(1)}$ təcilindən əlavə, intervalın başlanğıcında rotorun $V_{(1)}$ nisbi sürətinin də artıq mövcud olduğunu nəzərə almaq lazımdır

$$\Delta\delta_{(2)} = V_{(1)}\Delta t + \frac{\alpha_{(1)}\Delta t^2}{2} = V_{(1)}\Delta t + K \frac{\Delta P_{(1)}}{2}, \qquad (11.11)$$

burada $\Delta P_{(1)} = P_0 - P_{\max} \sin(\delta_1)$.

Birinci zaman intervalı müddətində təcil $\alpha_{(0)}$ sabit olmadığına görə, V_1 sürətinin qiyməti dəqiq deyil. Sürətin daha dəqiq qiymətini, birinci intervalda başlanğıc təcil detil, orta təcilin təsir etməsini fərz etsək aşağıdakını almaq mümkündür:

$$\alpha_{(0)or} = \left(\alpha_{(0)} + \alpha_{(1)}\right)/2.$$

Onda nisbi sürət aşağıdakı formul ilə ifadə olunacaq:

$$V_{(1)} = \alpha_{(0)or}\Delta t = \frac{\left(\alpha_{(0)} + \alpha_{(1)}\right)}{2}\Delta t.$$

Bu qiyməti (11.11)-də yerinə yazsaq növbəti ifadəni,

$$\Delta\delta_{(2)} = \frac{\left(\alpha_{(0)} + \alpha_{(1)}\right)}{2}\Delta t + \frac{2\alpha_{(1)}\Delta t^2}{2} = \frac{\alpha_{(0)}\Delta t^2}{2} + \alpha_{(1)}\Delta t^2$$

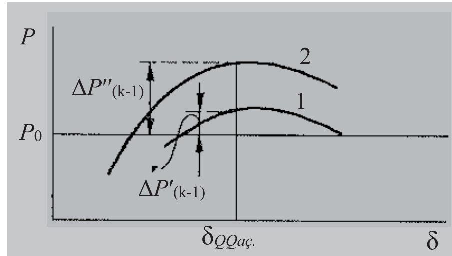
və ya $\alpha_{(0)}$ ilkin təcili və (11.8) – (11.11) ifadələrini nəzərə alaraq,

$$\Delta\delta_{(2)} = \Delta\delta_{(1)} + K\Delta P_{(1)}$$

bərabərliyini alarıq. Sonrakı intervallarda bucaq artımı analoji olaraq hesablanır:

$$\Delta\delta_{(n)} = \Delta\delta_{(n-1)} + K\Delta P_{(n-1)}.$$

Əgər başlanğıcda hər hansı *K* intervalında QQ-nın açılması baş verirsə, onda izafi güc qəflətən hər hansı $\Delta P'_{(k-1)}$ qiymətindən (*şək.11.6*) $\Delta P''_{(k-1)}$ qiymətinə qədər dəyişir ki, bu 1-ci xarakteristikasından 2-yə keçidə uyğundur.



Şəkil 11.6. Bir rejimdən (1 xarakteristikası) digərinə (2 xarakteristikasına) keçid zamanı izafi gücün təyini üçün

Qısaqapanma açıldıqdan sonra birinci intervalda bucaq artımı aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\Delta\delta_{(K)} = \Delta\delta_{(K-1)} + K\frac{\Delta P'_{(K-1)} + \Delta P''_{(K-1)}}{2}. \quad (11.12)$$

Ardıcıl intervallar metodu, adətən qiymətləndirmə məqsədləri üçün istifadə olunur. Zamana intervalı əssən 0,03-0,05 san qəbul olunur. Hesbatın addımı orta hesabla 0,01 və ya 0,02 səviyyəsində qəbul olunur. Hesabat δ bucağının azalmağa başlayan anına kimi və ya bucağın qiymətini məhdudiyyətsiz olaraq artımının davam etdiyi məlum olan (dayanıqlığın pozulma) ana kimi davam etdirilir.

11.6. MÜRƏKKƏB SİSTEMLƏRİN DİNAMİK DAYANIQLIĞI

ES-də QQ olduqda sistemin bütün elektrik stansiyalarının generatorlarında yırğalanma baş verir.

Mürəkkəb sistemlərin DD əsas analiz metodu keçid prosesi =-nin təqribi hesablama, o cümlədən adrıcıl intervallar metodu hesab olunur. Bu halda sitemin bütün generatorlarının vəziyyətini hər bir intervalın sonunda müəyyən edən bucaq sürüşmələrinin hesablanması məlum sadə formularla təyin olunur. Əsas çətinliklər hər bir zaman intervalı üzrə generatorlar üçün izafi gücün və momentinin təyin olunmasıdır. Hər generatorun istənilən zaman anında verdiyi güc bütün sistemin generatorlarının EHQ-nin mütləq qiyməti və faz sürüşməsi ilə təyin edilir. Aktiv güclərin hesablanmasının sadə üsulu qolların məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliklərin vasitəsi ilə təyin olunan ifadələrdən istifadə etməkdir.

Yırğalanma baş verdikdə generatorların EHQ fazları fasiləsiz dəyişməyə məruz qalır və bu səbəbdən generatorlar tərəfindən verilən güc də dəyişir. Bu isə generatorun valında izafi momentin yaranmasını şərtləndirir.

Mürəkkəb sistemlərin dinamik dayanıqlığının hesabatını aşağıdakı alqoritm şəklində təqdim etmək olar:

1. Elektrik sisteminin normal (QQ-dən əvvəlki) rejiminin hesabatı. Hesabatın nəticəsi elektrik stansiyasının EHQ ($E^{/}$) və onların arasındakı bucağın qiymətidir.
2. Əks və sıfır ardıcıllıqların əvəz sxeminin tərtib olunması, QQ nöqtəsinə və sxemin sıfır nöqtəsinə nəzərən onların yekun müqavimətlərinin təyini. Baxılan QQ-ya uyğun olan qəza şuntlayıcı müqavimətin hesablanması.

3. Qəza və qəzadan sonrakı rejimlərdə sistemin bütün stansiyaları üçün məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliklərin hesabatı.
4. Ardıcıl intervallar metodunun köməyi ilə maşınların rotorlarının yerdəyişmə bucaqlarının hesabatı. Birinci intervalın başlanğıcında maşınların verdiyi gücün qiymətinin təyini:

$$P_1 = E_1^2 Y_{11} \sin\alpha_{11} + E_1 E_2 \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}) + ...$$

$$P_2 = E_2 E_1 \sin(\delta_{21} - \alpha_{21}) + E_2^2 Y_{22} \sin\alpha_{22} + ...$$

....

5. Birinci intervalın başlanğıcında izafi qücün təyini:

$$\Delta P_{1(0)} = P_{10} - P_1,$$

$$\Delta P_{2(0)} = P_{20} - P_2,$$

....

burada P_{10}, P_{20} və s. – QQ-dən əvvəlki anda maşınların gücüdür.

6. Birinci interval müddətində (Δt) generatorların rotorlarının yerdəyişmə bucaqlarının hesablanması:

$$\Delta\delta_{1(1)} = K_1 \frac{\Delta P_{1(0)}}{2},$$

$$\Delta\delta_{2(1)} = K_2 \frac{\Delta P_{2(0)}}{2}.$$

....

İkinci və sonrakı intervallarda rotorların yerdəyişmə bucaqları üçün ifadələr bir qədər başqa cür olacaqdır:

$$\delta_{1(n)} = \Delta\delta_{1(n-1)} + K_1 \Delta P_{1(n-1)},$$

$$\delta_{2(n)} = \Delta\delta_{2(n-1)} + K_2 \Delta P_{2(n-1)},$$

....

Burada K əmsalı (11.10) ifadəsinə müvafiq hesablanır.

7. Birinci intervalın sonunda – ikincinin başlanğıcındakı bucaqların yeni qiymətlərinin təyini:

$$\Delta\delta_{1(n)} = \Delta\delta_{1(n-1)} + \delta_{1(n)},$$
$$\Delta\delta_{2(n)} = \Delta\delta_{2(n-1)} + \delta_{2(n)},$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Burada $\delta_{1(n-1)}$, $\delta_{2(n-1)}$ və s. – özündən əvvəlki intervalın sonunda bucağın qiymətidir.

8. Rotorların yerdəyişmələrinin qarşılıqlı aralanma bucaqlarının yeni qiymətlərinin tapılması:

$$\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2,$$
$$\delta_{13} = \delta_1 - \delta_3,$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

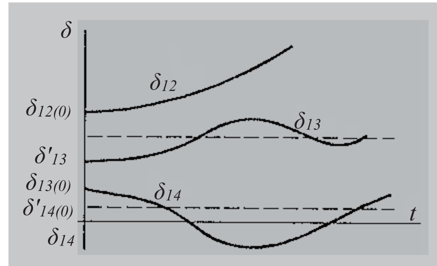
Bu qiymətləri bilərək sonrakı intervalın hesablanmasına keçmək olar. Yəni əvvəlcə bu intervalın başlanğıcındakı gücü hesablamaq, sonra isə 5-ci bəndən başlayaraq hesabatı təkrarlamaq lazımdır.

Zədələnmənin açılma anında bütün məxsusi və qarşılıqlı keçiriciklər dəyişir. Açılmadan sonrakı anın birinci interval zamanı rotorların yerdəyişmə bucağı hər bir maşın üçün (11.12) ifadəsi üzrə hesablanır.

Mürəkkəb sistemlərin dinamik dayanıqlığı QQ-nın açılmasının müəyyən müddəti üçün yerinə yetirilir, lakin QQ-nın açılma anına qədər yox, dayanıqlığın pozulması və ya onun saxlanılması faktının müəyyən olunmasına qədər davam etdirilir. Bu barədə nisbi bucaqların dəyişmə xarakterinə görə fikir söyləmək olar.

Əgər heç olmasa bir bucaq qeyriməhdud artırsa (məs.*şək. 11.7*-də δ_{12} bucağı), onda sistem dinamik

dayanıqsız hesab olunur. Əgər bütün qarşılıqlı bucaqlar hər hansı bir yeni qiymət ətrafında sönməyə meyl edirlərsə, onda sistem dayanıqlı olur. Hesablanan sistemin strukturunda elə stansiya vardır ki, onun gücü yerdə qalan digər stansiyaların gücündən çoxdur, bu zaman nisbi bucaqlar bu stansiyaya nisbətən hesablanır.



Şəkil 11.7. Sisteminin generatorlarının Nisbi bucaqlarının dəyişməsi

Əgər nisbi bucaqların dəyişmə xarakterinə görə hesabatın əvvəlində qəbul olunmuş QQ-nın açılma müddətində dayanıqlığın pozulması aşkar olunursa, onda QQ-nın son hədd müddətini təyin etmək üçün QQ-nın açılma müddətini azaltmaqla hesabatı təkrar etmək lazımdır. Hesabat o vaxta qədər təkrar olnur ki, onun növbəti qiymətlərinin birində dayanıqlı həll alınsın.

11.7. MÜHƏRRİK YÜKLƏRİNİN DİNAMİK DAYANIQLIĞI

Böyük həyəcanlanmalar zamanı mühərrik yükləri nəinki onların iş rejimlərinə, həm də yükü qidalandıran sistemin fəaliyyətinə təsir edir. Yada salaq ki, həyəcanlanma enerji sisteminin həyəcanlandırıcı təsirlərə reaksiyası kimi, baş düşülür.

Həyəcanlandırıcı təsirlər şərti olaraq iki, xarici və daxili növlərə bölünür. Xarici həyəcanlandırıcı təsirlər xarici enerhcizatı sxemlərində baş verən QQ, səhv açılmalar və s-ni qeyd etmək olar.

Daxili həyəcanlandırıcı təsirlər qismində, gücül mühərriklərini açılması, daxili enerji təchizatı elementlərinin açılması, daxili şəbəkələrdə QQ, bölmələrarası açarın qoşulması və s.-ni göstərmək olar.

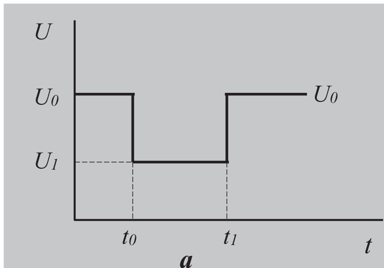
Elektrik təchizatı sistemi üçün xarakterik olan iki növ həyəcanlanma təsirlərinə ayırmaq olar:

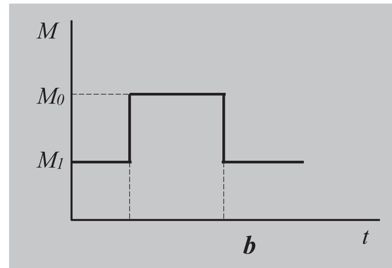
1. Mühərrikin sıxaclarında növbəti səbəblərdən gərginliyin aşağı düşməsi:
   - paylayıcı şəbəkədə qısaqapanma;
   - mühərrikin qidalandırılmasının qısa müddətə dayandırılması;
   - mühərrikin işə salınması.

Fərz edək ki, bu zaman gərginlik *şək. 11.8, a*-da göstərildiyi kimi sıçrayışla dəyişir. Aydındır ki, mühərrikin şəbəkədən açılan anında gərginlik $U_1 = 0$ olur.

2. Hərəkətə gətirilən mexanizmin iş rejiminin dəyişməsi ilə əlaqədar olaraq mühərrikin valında mexaniki momentin dəyişməsi.

Həmçinin fərz edək ki, t_0 və t_1 zamanı anlarında *şək. 11.8, b*-də göstərildiyi kimi bu dəyişmə sıçrayışla baş verir. Hər iki halda t_1 anında həyəcanlanma qurtarır, lakin mexaniki moment və ya gərginlik öz əvvəlki qiymətini bərpa edir.





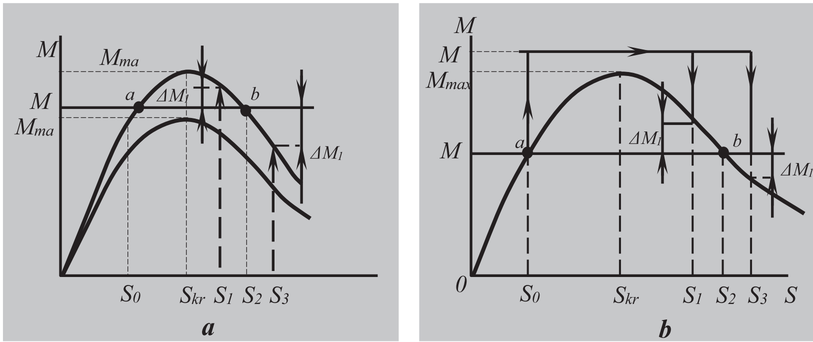
Şəkil 11.8. Mühərrikin sıxaclarında gərginliyin (a) və onun mexaniki momentinin (b) dəyişməsi

11.7.1. Asinxron mühərrikin dinamik dayanıqlığı

Asinxron mühərriklər sənaye yükünün əksər hisəsini təşkil edir. Onun sinxron mühərriklərdən prinsipaial fərqi ondan ibarətdir ki, onun rotoru statorun elktromaqnit sahəsinə nisbətən aşağı surətlə fırlanır. Başqa sözlı asixron mühərriklərdə sürüşmə mövcuddur.

Mühərrikin sıxaclarında gərginliyin aşağı düşməsi və ya onun valında mexaniki momentin artması ΔM izafi tormozlayıcı momentin

yaranmasına səbəb olur (*şək. 11.9*). Həm gərginliyin aşağı düşməsi, həm də mexaniki momentin artması zamanı (axırıncı elektromaqnit momentin maksimal qiymətindən yuxarı olur, yəni $M_{mex} > M_{max}$) mühərrikin sürüşməsi artacaq və o tormozlanaraq dayanacaqdır (devriləcəkdir). Bu hadisənin baş verməməsi üçün vaxtında gərginliyi bərpa etmək və ya mexaniki momenti azaltmaq tələb olunur. Əgər S_1 sürüşməsi zamanı (*şək. 11.9*) gərginliyin və ya momentin əvvəlki qiyməti bərpa olunursa, onda mühərrikin valına onu S_0 sürüşməsinə malik olan dayanıqlı iş rejiminə qaytaran ΔM_1 sürətləndirici izafi momenti təsir edəcək.



Şəkil 11.9. Asinxron mühərrikin dinamiki xaraktüeistikası: a – gərginliyin azalması; b – mexaniki momentin artması.

Əgər gərginliyin yaxud momentin bərpa olunması S_3 sürüşməsi zamanı baş verirsə, o zaman yaranmış ΔM_2 izafi moment tormozlayıcı xarakterli olacaq və mühərriki devirəcəkdir (aşıracaqdır). Sürüşmənin bu və ya digər qiymətinə çatması üçün zəruri olan müddəti necə təyin etməli? Bunun üçün *mühərrikin rotorunun hərəkət tənliyini* həll etmək lazımdır.

Mühərrikin valında izafi moment yarandıqda rotorun sürətlənməsi əlavə momentə düz və inersiya momentinə əks mütənasibdir və aşağıdakı şəkildə yazıla bilər:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\Delta M}{J}, \qquad (11.13)$$

burada $\Delta M = M_{müh} - M_M$ – mühərrikin elektromaqnit momenti və hərəkətə gətirilən mexanizmin müqavimət momenti;

J - inersiya momentidir, belə ki,

$J = J_{müh} + J_{mex.gət.}$, $J_{mex.gət.} = J_{mex}$ $(\omega_{nom.mex} / \omega_{nom.müh})$ – ayrı – ayrı nominal fırlanma sürətləri nəzərə alınmaqla mexanizmin (hər hansı bir qiymətə) gətirilmiş momentidir;

ω – mühərrikin fırlanmasının bucaq sürətidir və sürüşmə vasitəsilə aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər:

$$\omega = (1 - S)\omega_{1\,nom}. \qquad (11.14)$$

(11.14) tənliyini (11.13)-də yerinə yazaraq və ΔM-i mühərrikin nisbi nominal vahidlərində ifadə etsək aşağıdakı ifadəni alarıq:

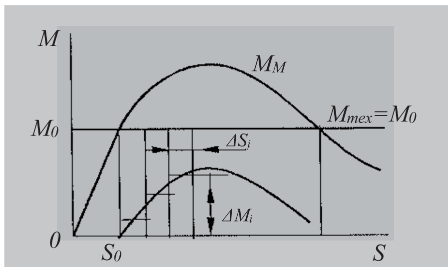
$$\Delta M_{*\,nom} = -\frac{dS}{dt}\frac{\omega_{1\,nom}}{M_{nom}}J = -T_j\frac{dS}{dt}, \qquad (11.15)$$

burada $\mathrm{T_j} = J\omega_{1nom}^2 / P_{nom}$;

$\mathrm{P_{nom}}$ – mühərrikin nominal gücüdür.

(11.15) tənliyi böyük həyəcanlanmalar zamanı mühərrikin rotorunun hərəkətini təsvir edir və a*sinxron mühərrikin rotorunun hərəkət tənliyi* adlanır.

Bu tənlik qeyri – xəttidir və ədədi inteqrallama metodlarından istənilən birinin köməyi ilə həll oluna bilər. Əgər $\Delta M(S)$ funksiyasının absis oxunu ΔS (*Şək. 11.10.*) bərabər intervallarına bölsək



Şəkil 11.10. Mühərrikin rotorunun hərəkət tənliyinin həlli üçün

tənliyin sadə həllini almış olarıq. Onda hərəkət tənliyi istənilən intervalda aşağıdakı şəkildə olacaq:

$$\Delta M_i = T_j \frac{\Delta S_i}{\Delta t_i}$$

Rejimin pozulma anından istənilən n-ci intervalın sonuna qədər olan zaman müddəti isə aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$t = T_j \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta S_i}{\Delta M_i}$$

Həllin dəqiqliyi ΔS-in qiymətindən asılıdır və onun azalması ilə artır.

Bu şəkildə $S(t)$ asılılığını alaraq *şək. 11.8*-dən t_1 zamanına uyğun olan sürüşməni təyin edə bilərik. Bu qiyməti bilərək mühərrikin dinamik dayanıqlığı haqqında fikir söyləmək olar.

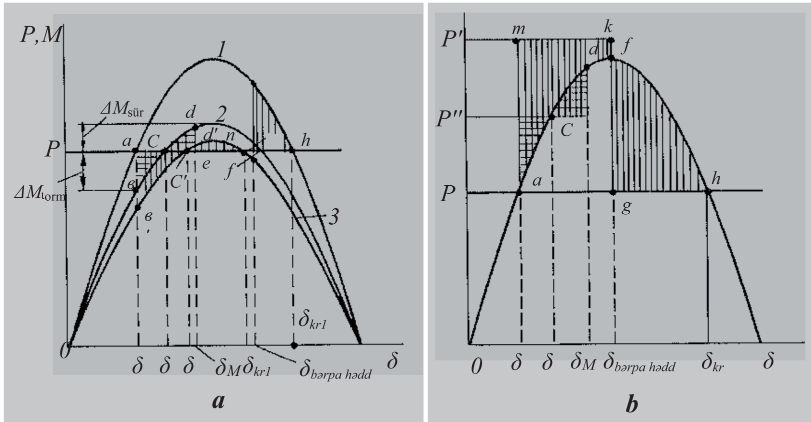
11.7.2. Sinxron mühərrikin dinamiki dayanıqlığı

Sinxron mühərriklərin dinamik dayanıqlığına təsir edən faktorlardan qısamüddətli qoşulma düyün nöqtəsində gərginliyin düşməsi və müxaniki momentin əlavə olunması halına baxaq.

Bu məqsədlə, fərz edək ki, mühərrik proporsional tipli TAT qurğusu ilə təchiz olunub. Onda mühərrik bundan əvvəlki haldakı kimi (10.11.2 bəndinə bax) x'_d müqaviməti və E' EHQ ilə təqdim oluna bilər. İkinci harmonika nəzərə alınmadan mühərrikin güc xarakteristikası sinusoidal xarakterlidir (*şək. 11.11*-də *1* əyrisi). Mühərrikin sıxaclarında gərginlik azalan zaman işçi nöqtə, güc xarakteristikasında yeni rejimə uyğun olan nöqtəyə doğru (*şək. 11.11, a*-da *2* xarakteristikasında *b* nöqtəsinə) yerini dəyişir. Bu zaman mühərrikin və hərəkətə gətirilən mexanizmin valında ΔM_{torm} izafi tormozlayıcı momenti yaranır, δ bucağı artmağa başlayır, tormozlayıcı moment isə azalır və *c* nöqtəsində sıfıra bərabər olur. Mühərrikin rotorunun *b* nöqtəsindən *c* nöqtəsinə qədər hərəkəti

zamanı yığdığı kinetik enerji (onun qiyməti *abc* sahəsinə mütənasibdir) rotorun yeni dayanıqlı tarazlıq nöqtəsində – *c*-də dayanmağa imkan verməyəcəkdir. δ bucağı o vaxta qədər artacaqdır ki, *cde* sahəsi *abc* sahəsinə bərabər olsun. *d* nöqtəsi rotorun oxunun başlanğıc δ_0 vəziyyətindən maksimum meyletmə bucağına uyğundur.

Rotorun fırlanma sürəti *d* nöqtəsində sinxron sürətə bərabər olur, lakin mühərrikin valına sürətləndirici $\Delta M_{\text{sür}}$ momenti təsir etdiyi üçün rotor *c* nöqtəsinə tərəf hərəkət etməyə başlayır. Onun yaxınlığında, xəttin qəflətən açılması halına (*şək. 11.1, ç* -yə bax) oxşar olaraq, sönən rəqslər yaranır.



Şəkil 10.11. Sinxron mühərrikin güc xarakteristikası:
a – gərginliyin azalması (azalmış gərginlik zamanı güc (*2*,*3* əyriləri) və U_{nom} zamanı moment (*1* əyrisi) xarakteristikalar); *b* – mexaniki momentin əlavə olunması

Baxılan gərginlik azalması (ona *2* xarakteristikası uyğundur) mühərrikin dayanıqlığını pozmur və o alçaq gərginlikdə də normal işləyə bilər (statik dayanıqlığın kiçik ehtiyatı ilə). Əgər güc xarakteristikası rotorun meyletməsinin maksimal bucağının kritik qiymətdən δ_{kr} -dən çox (*3* xarakteristikası) olması şəklində yerləşirsə onda mühərrikin valında əlavə tormozlayıcı moment yaranır və onun dayanıqlığı pozulur. Bu halda dayanıqlığı saxlamaq üçün mühərrikin sıxaclarında $\delta_{\text{bərpa}}$ bucağına uyğun olan hər hansı bir anda U_0 gərginliyini bərpa etmək lazımdır.

Bununla yanaşı işçi nöqtənin *1* xarakteristikasına keçidi baş verir, sürətlənmənin yeni *mgh* sahəsi mühərrikin tormozlanmasının qurtarması və onun dayanıqlı işçi vəziyyətə qayıtması üçün $\delta_{\text{bərpa}}$ bucağının hədd qiyməti aşağıda verilən sahələrin bərabərliyi ilə təyin olunacaq:

$$\mathrm{F}_{ab^{/}c^{/}} + F_{nmf} = F_{c^{/}d^{/}n} + F_{mgh}, \text{ və ya}$$

$$\int_{\delta_0}^{\delta_2} (P_0 - P_{\max 3}\sin\delta)d\delta + \int_{\delta_{kr.3}}^{\delta_{berpa.hedd}} (P_0 - P_{\max 3}\sin\delta)d\delta -$$

$$-\int_{\delta_2}^{\delta_{kr.3}} (P_{\max 3}\sin\delta - P_0)d\delta - \int_{\delta_{berpa.hedd}}^{\delta_{kr.1}} (P_{\max 1}\sin\delta - P_0)d\delta = 0,$$

buradan, 10.3 bölməsində verilən oxşar çevirmələrdən sonra, aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\cos\delta_{berpa.hedd} = \frac{P_0(\delta_{kr.1} - \delta_0) - P_{\max 3}\cos\delta_0 + P_{\max 1}\cos\delta_{kr.1}}{P_{\max 1} - P_{\max 3}}.$$

Mühərrikin mexaniki momentinin $P^{/}_0$-a qədər əlavə artması (*şək. 11.11*, *b*) zamanı valda əlavə tormozlayıcı ΔM_{torm} moment yaranır ki, o δ bucağının artmasına doğru rotorun nisbi hərəkətini yaradır. Rotorun bucağının qiyməti δ_1-in qiymətini aşdıqda, mühərrikin valında sürətləndirici izafi moment yaranır. *c* nöqtəsində maksimum olan rotorun nisbi sürəti *d* nöqtəsində sıfıra bərabər olur. Mühərrik əks tərəfə fırlanmağa başlayır. *c* nöqtəsi ətrafında olan sönən rəqslər nəticəsində mühərrik δ_1 bucağı ilə yeni iş rejiminə keçir.

Mexaniki momentin əlavə olaraq çox artması ($P_0^{//}$ qiymətinə qədər) zamanı, bundan əvvəlki haldan fərqli olaraq dinamiki dayanıqlıq təmin olunmur. δ bucağının istənilən qiymətində yaranmış izafi moment tormozlayıcı xarakterli olacaq və mühərrik sinxronizmdən çıxacaqdır. Bu halda, əgər hər hansı bir *f* nöqtəsində mexaniki momentin öz əvvəlki qiymətinə qədər bərpa olunması baş

verərsə dayanıqlığın saxlanılması mümkündür. Mühərrikin valında *fg* parçasına mütənasib olan sürətləndirici izafi moment yaranır. Əgər *amkf* tormozlama sahəsi sürətlənmənin *fgh* mümkün ola biləcək sahəsindən az olarsa, yaxud heç olmasa ona bərabər olarsa mühərrikin dinamik dayanıqlığı saxlanılacaqdır. Bu sahələr bərabər olduğu halda mexaniki momentin bərpa olunma bucağı son hədd qiymətində olur. Onun qiyməti aşağıdakı bərabərlikdən tapıla bilər:

$$F_{amkf} - F_{fgh} = 0 \text{ yaxud}$$

$$\int_{\delta_{kr.3}}^{\delta_{berpa.hedd}} \left(P_0'' - P_{\max 1}\sin\delta\right)d\delta - \int_{\delta_{berpa.hedd}}^{\delta_{kr}} \left(P_{\max 1}\sin\delta - P_0\right)d\delta = 0.$$

İnteqralı açıb və alınan ifadəni çevirib, belə yaza bilərik

$$\cos\delta_{berpa.hedd} = \frac{P_0''\delta_0 - P_0\delta_{kr} - P_{\max 1}\left(\cos\delta_{kr} - \cos\delta_0\right)}{P_0'' - P_0}.$$

Mühərrikin rotorunun $\delta_{bərpa\ hədd}$ bucağına çatması üçün lazım olan zaman müddəti δ = *f* (t) asılılığından təyin olunur, o isə rotorun hərəkət tənliyinin həll olunması nəticəsində alınır. Mühərrikin valında izafi moment yarandıqda onun nisbi sürəti Δω aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$d\delta/dt = \Delta\omega = \omega_0 - \omega$$

burada ω_0 – sinxron sürətdir.

Nisbi qiymət $\Delta\omega_*$ -nı aşağıdakı formul ilə təyin edirik:

$$\Delta\omega_* = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = 1 - \omega_* = S.$$

Mühərrikin sürüşməsini aşağıdakı şəkildə verək:

$$S = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \left(\frac{\omega_0 - \Delta\omega}{\omega_0}\right) = 1 - \left(1 - \frac{1}{\omega_0}\frac{d\delta}{dt}\right).$$

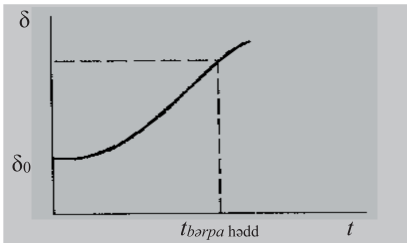
ΔM izafi momentinə uyğun olan rotorun sürətlənməsi ΔM ilə düz və mühərrikin inersiya sabiti (T_j) ilə tərs mütənasibdir:

$$\frac{d\omega_*}{dt} = -\frac{dS}{dt} = -\frac{1}{\omega_0}\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\Delta M}{T_j},$$

buradan

$$-T_j\frac{d^2\delta}{dt^2} = \Delta P. \qquad (11.16)$$

Bu tənlik *sinxron mühərrikin rotorunun hərəkət tənliyi* adlanır. Bu tənliyin sağ tərəfi qeyri – xəttidir, ona görə də onun həlli hər hansı bir ədədi metodun köməyi ilə (o cümlədən, ardıcıl intervallar meodu ilə) həll oluna bilər. Həllin nəticəsi $\delta = f(t)$ asılılığıdır (*şək. 11.12*). Qrafik metodla bərpa olunmanın hədd bucağını $\delta_{bərpa\ \text{hədd}}$-ni təyin edib, *şək. 10.12*-də göstərdiyi kimi ona uyğun olan zamanın hədd qiymətini $t_{bərpa\ \text{hədd}}$ tapırıq. Mühərrikin rotorunun hərəkət tənliyi (11.16)-nın həlli mühərrikin dayanıqlığı haqqında fikir söyləməyə imkan verir. Əgər $\delta(t)$ asılılığı artan xarakterlidirsə mühərrik dayanıqlı deyil. Əgər bu asılılıq sönən rəqsi əks etdirirsə,onda mühərrik dayanıqlıdır.



Şəkil 11.12. t $_{bərpa\ hədd}$ –nin təyini üçün

11.8. MÜHƏRRİKİN İŞƏ SALINMASI

Mühərrikin işə salınması – bu mühərrikin və işçi mexanizmlərin hərəkətsiz vəziyyətdən ($\omega = 0$) normal sürətlə ($\omega = \omega_0$) fırlanma vəziyyətinə keçid prosesidir.

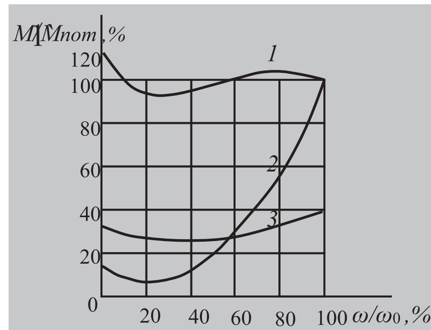
İşə salınma zamanı keçid prosesləri mühərrikin hansı üsulla işə salınmasından asılıdır.

Sinxron və asinxron mühərriklərin işə salınması zamanı gedən proseslər, həmçinin onların işə buraxma sxemləri olduqca oxşardır və yalnız sinxron mühərriklərdə işə salınmanın axırıncı mərhələsində təsirlənmənin qoşulması ilə fərqlənir. Mühərriklərin işə salınması normal keçid prosesidir və ona elektrik təchizatı sisteminin normal işini təmin etmə nöqteyi nəzərindən baxılır. Bununla yanaşı aşağıdakı məsələlər həll olunur: mühərriklərin cərəyanının təyini, işə buraxma zamanı onların sıxaclarında gərginliyin təyini, mühərriklərin qrup şəklində işə salınması və s.

İşə salınma zamanı mühərrik, normal iş rejiminə nisbətən kifayət qədər çox enerji sərf edir ki, bu işəburaxma cərəyanının artması ilə müşayət olunur. İşəburaxma cərəyanının nominala nisbətən dəfəliliyi qısaqapanmış mühərriklər üçün 5 ... 8-ə çatır.

Mühərrikin işə salınma şəraiti başlanğıc anda mühərrikin yaratdığı mexaniki moment ilə təyin olunur.

Fırlanma hərəkətinə gətirilən bir neçə növ mexanizmlərin mexaniki xarakteristikaları *şək. 11.13*-də verilib. Bunlar işəsalma şərtlərinə görə üç yerə bölünürlər: yüngül, normal və ağır.



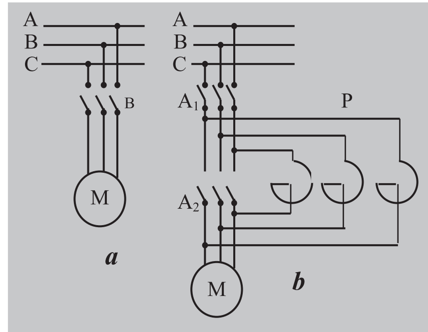
Şəkil 11.13. İşçi mexanizmlərin mexaniki xarakteristikaları: 1 – qaldırıcı kran; 2 – mərkəzdən qaçma nasosu; 3 – porşenli kompressorlar və ventilyatorlar

Yüngül işəsalma şərtləri o vaxt yaranır ki, mühərrikin başlanğıc fırlanma momenti $M_{mex.baş} = (10 - 40)\ \%\ M_{nom}$ olsun, burada M_{nom}–mühərrikin nominal momentidir.

Normal şərtlər $M_{mex.baş}$ = (50 – 70)% M_{nom} olduqda yaranır.

Ağır şərtlər isə $M_{mex.baş}$ = 100 % və daha çox M_{nom}olduqda yaranır.

Ağır işəsalma şərtləri qaldırıcı kran, doğrayıcı (daşdoğrayan) barabanlar, açıq siyirtməli nasoslar və s.kimi mexanizmlər üçün xarakterikdir (*şək. 10.13*). Ağır işəsalma şərtini yüngülləşdirmək üçün bəzi intiqallarda xüsusi mexanizmlərdən istifadə olunur: mərkəzdənqaçma, hidravlik, ilişmə və digər muftalar.



Şəkil 11.14 Mühərriklərin işəsalınma sxemləri: a – birbaşa; b – reaktorla

Bunların köməyi ilə mühərrikyalnız lazım olan fırlanma sürətinə çatdıqdan sonra yüklənir və o sürətə uyğun mexaniki moment yaradır.

İşəsalma sxemi qidalandırıcı şəbəkənin tələbləri ilə təyin edilir. İstismar praktikasında daha geniş yayılmış birbaşa və reaktor vasitəsilə işəsalma sxemlərinə baxaq.

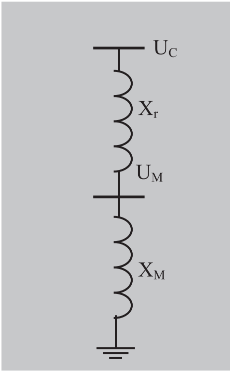
Birbaşa işəsalma şək. 11.14,a-da göstərilən sxem üzrə yerinə yetirilir. Mühərrik açarla şəbəkənin tam gərginliyinə qoşulur. Bu kiçik güclü mühərriklərin işəsalınması üçün istifadə olunan ən sadə sxemdir.

Reaktorla işəsalma şəkil 11.14, b-də göstərilən sxem üzrə yerinə yetirilir. İşəsalmanın başlanğıcında şuntlayıcı A2 açarı açıq vəziyyətdədir. Mühərrik şəbəkəyə reaktor vasitəsilə qoşulur.O, mühərrikin işə salma cərəyanını məhdudlaşdırır və onun sıxaclarında gərginliyi aşağı salır. Mühərrik sürətini artırdıqca onun tələb etdiyi cərəyan azalır və mühərrikin sürəti nominala yaxınlaşdığı zaman işəsalma reaktorunu açan şuntlayıcı A2 açarı qoşulur. Reaktorun müqaviməti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$x_r = U_{nom}\left(\frac{1}{I_{iş.sal.\min}} - \frac{1}{I_{iş.sal.\max}}\right),$$
(11.17)

burada $I_{işəsal.\ min}$ – reaktorun köməyi ilə işəsalma cərəyanının məhdudlaşdırıldığı minimum qiymətdir;
$I_{işəsal.\ max}$ – mühərrikin sıxaclarında nominal gərginliyə Uyğun onun işəsalma cərəyanıdır.

Reaktorla işəsalma zamanı mühərrikin sıxaclarındakı gərginlik *şək. 11.15*-də göstərilən əvəz sxemilə təyin olunur:



Şəkil 11.15. Reaktorla işəsalmanın əvəz sxemi

$$U_M = U_C - \frac{U_C}{x_r + x_M}x_r = U_C\left(1 - \frac{x_r}{x_r + x_M}\right) =$$
$$= \frac{U_C}{1 + x_r / x_M} = \frac{U_C}{1 + x_r\left(I_{iş.sal.\max} / U_{nom}\right)}.$$
(11.18)

İşəsalma cərəyanı

$$I_{iş.sal.} = \frac{U_C}{x_r + x_M} = \frac{U_C}{x_r + U_{nom} / I_{iş.sal.\max}}.$$
(11.19)

Reaktorla işə salma zamanı moment aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$M_{iş.sal.r} = M_{iş.sal(U=U_{nom})}\left(\frac{U_M}{U_{nom}}\right)^2 \qquad (11.20)$$

(11.17) – (11.20) ifadələrində nəzərdə tutulur ki, işəsalma rejimində mühərrik yalnız reaktiv müqaviməti ilə təqdim oluna bilər. Bu hesabata əhəmiyyətli dərəcədə xəta gətirmir, ona görə ki, mühərrikin aktiv müqaviməti sürüşməyə tərs mütənasibdir, işəsalmanın ilkin anında (S = 100% olduqda) çox kiçikdir. Reaktorla

işəsalmanın çatışmayan cəhəti əlavə avadanlıqların (reaktor və açarın) tələb olunmasıdır. Bundan başqa mühərrikin işə salınma müddəti artırılır və onun işəsalınma elektromaqnit momenti azalır. Reaktorla işəsalınmanın üstün cəhəti – qidalandırıcı şəbəkədə gərginlik rejiminin yaxşılaşdırılması, onun avadanlıqlarına tələbin yumşaldılmasıdır.

Sinxron mühərriklərin işə salınmasının özünə məxsus xüsusiyyətləri vardır. Sinxron mühərrik şəbəkəyə təsirlənməmiş qoşulur. Onun təsirlənmə dolağı qısaqapanmışdır, yaxud müqavimətlə qapanır $r_{\text{işə sal.}} = (5\ ...\ 10)\ r_f$, burada r_f – təsirlənmə dolağının müqavimətidir. Mühərrikin işəsalma cərəyanı aşağıdakı formulu ilə təyin olunur:

$$I_{iş.sal} \cong \frac{U_M}{x''_d},$$

burada U_M – mühərrikin sıxaclarındakı gərginlik;

x''_d – mühərrikin ifratkeçirici müqavimətidir.

Rotorun fırlanma sürəti sinxrona yaxın olan kimi, ona təsirlənmə verilir və o sinxronizmə cəlb olunur.

İşəsalma rejiminin hesabatı işəsalma müddətinin, dolağın qızmasının yol verilən müddətinin, qidalandırıcı şəbəkənin gərginliyinin dəyişmə xarakterini təyin etmək məqsədi ilə yerinə yetirilir. Asinxron mühərriklərdə olduğu kimi sinxron mühərriklər üçün də işəsalma rejiminin hesabatı mühərrikin rotorunun hərəkət tənliyinin həlli ilə yerinə yetirilir. Bu zaman sürüşmənin başlanğıc qiyməti $S_{\text{işə sal.}} = 100\%$ vahidnə bərabərdir. İşəsalma müddətinin zaman intervalını kiçik intervallara bölərək $S(t)$ asılılığını tapırlar və bu asılılıqdan $S = S_0$ zamanı işəsalma müddətini təyin edirlər. Cərəyana görə ifrat yüklənmənin mövcud olma müddətini və onların qiymətini bilərək mühərrikin qızmasını təyin edirlər. $U(t)$ asılılığı, (məs. yaxınlıqda işləyən mühərriklərin dayanıqlığını qiymətləndirmək üçün) hər bir zaman intervalında qidalandırıcı şəbəkədə və mühərrikin sıxaclarında gərginlik rejiminin hesablanması yolu ilə təyin olunur.

M ə s ə l ə 10.2. Alçaldıcı yarımstansiyanın 6 kV –luq şinindən iki ədəd eyni M1 və M2 asinxron mühərrikləri qidalanırlar. Onların hər birinin parametrləri: P_{nom} = 2000kVt, U_{nom} = 6 kV, cosφ = 0.83, η = 92%, $I_{işə\ sal.}$ = 5.2 .

Sxemin yerdə qalan elementlərinin xarakteristikaları aşağıdakılardır:

Transformator T – 1: S_{nom} = 15 MVA, 115,5/ 37kV, U_{qq} = 10,5%.

Transformator T – 2: S_{nom} = 7,5 MVA, 36,8/ 6,6kV, U_{qq} = 7,5%.

Xətt L: l = 15 km, x_0 = 0,4 Om/km

Sistem S – sonsuz güc mənbəyi, dəyişməz 107kV gərginliklə.

T ə l ə b o l u n u r: aşağıdakı hallarda mühərriklərin işə salınma şəraitlərini müqayisə edin:

a) hər iki mühərrik eyni vaxda işə salınır;

b) bir mühərrik işə salınır, bu zaman ikinci mühərrik nominal gərginlik və 0,67 S_{nom} , cosφ = 0,8 yüklə işləyir.

Nominal gərginlik zamanı işəsalma momentinin mühərrikin nominal momentinin 70% - ni təşkil etdiyini nəzərdə tutaraq işəsalma cərəyanının və işəsalma momentinin periodik toplananlarının qiymətlərinə görə müqayisəni yerinə yetirin.

H ə l l i. S_b = 7,5 MVA və U_{b1} = 6 kV qəbul edək. Bu halda digər pillələrdə bazis gərginlikləri aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$U_{bII} = 6\frac{36.8}{6.6} = 33.4kV \quad \text{və} \quad U_{bIII} = 33.4\frac{115.5}{37} = 104kV.$$

Şək. 2.21-də göstərilən əvəz sxeminin elementlərinin nisbi reaktivlikləri bu zaman aşağıdakı kimi hesablanır:

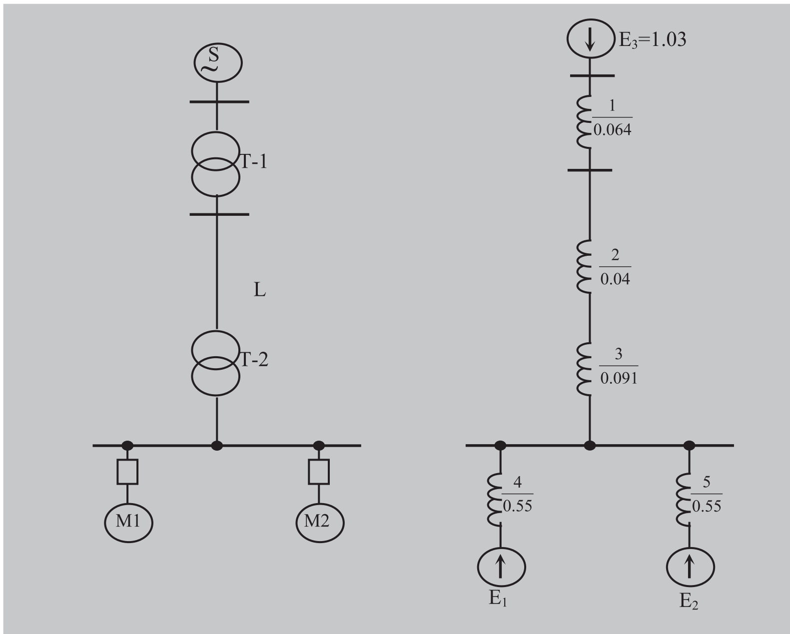
$$x_1 = 0.105\frac{7.5}{15}\left(\frac{37}{33.4}\right)^2 = 0.064, \qquad x_2 = 0.4\cdot 15\frac{7.5}{33.4^2} = 0.04,$$

$$x_3 = 0.075\left(\frac{6.6}{6}\right)^2 = 0.091, \qquad x_4 = x_4 = \frac{1}{5.2}\frac{7.5}{2.62} = 0.55,$$

Burada mühərrikin nominal gücü

$$S_H = \frac{P_H}{\cos\varphi\eta} = \frac{2000}{0.83\cdot 0.92} = 2620kVA = 2.62MVA.$$

Nisbi vahidlərdə sistemin gərginliyi $E_3 = \frac{107}{104} = 1.03.$



a halı.
Əvəz sxemində $E_1 = E_2 = 0$ hesab edilməlidir.
Sxemin yekun reaktivliyi

$$x_{\Sigma} = 0.064 + 0.04 + 0.091 + \frac{0.55}{2} = 0.47.$$

Bazis şərtləri daxilində hər bir mühərrikdə işəsalma cərəyanı

$$I_{iş.sal} = 0.5\frac{1.03}{0.47} = 1.1$$

yaxud mühərriklərin nominal cərəyanına nəzarən

$$I_{iş.sal} = 1.1\frac{7.5}{2.62} = 3.15.$$

Mühərriklərin işə salınması zamanı onun sıxaclarında qalıq gərginliyi

$U = 1.1 \cdot 0.55 = 0.605$, müvafiq

olaraq mühərrikin işə salınması zamanı moment $M_{iş.sal} = 0.605^2 \cdot 0.7M_{nom} = 0.256M_{nom}$.

b halı.

Əvvəlcə yüklənmiş vəziyyətdə işləyən mühərrikin EHQ-sini tapaq. Verilmiş bazis şərtləri zamanı onun işçi cərəyanı

$$I = \frac{0.67 \cdot 2.62}{7.5} = 0.234.$$ - ə bərabərdir.

Ona görə də axtarılan EHQ

$$E_1 = \sqrt{(U\cos\varphi)^2 + (U\sin\varphi - Ix_4)^2} = \sqrt{0.8^2 + (0.6 - 0.234 \cdot 0.55)^2} = 0.93.$$ -ə bərabər olacaq.

Sistem tərəfdən 6KV-luq şinə qədər olan cəmi reaktivliyi,

$$x_{\Sigma C} = 0.064 + 0.04 + 0.091 = 0.195$$

İşə salınması nəzərdə tutulan M2 mühərrikinə qədər (E_2 = 0) sxemin ekvivalent reaktivliyi $x_{\Sigma M} = 0.195 // 0.55 = 0.144.$ Bu reaktivlikdən sonra tətbiq olunan ekvivalent EHQ aşağıdakı kimi hesablanır:

$$E_\Sigma = \frac{(1.03 \cdot 0.55 + 0.93 \cdot 0.195)}{0.55 + 0.195} \approx 1.$$

Beləliklə, verilmiş bazis şərtləri zamanı mühərrikin işəsalma cərəyanı

$$I_{iş.sal} = \frac{1}{0.144 + 0.55} = 1.44,$$

nominal şərait zamanı isə

$$I_{iş.sal} = \frac{1.44 \cdot 7.5}{2.62} = 4.12.$$

Qalıq gərginlik $U_{qal} = 1.44 \cdot 0.55 = 0.79$ və işəsalma zamanı mühərrikin götürdüyü moment $M_{iş.sal} = 0.79^2 \cdot 0.7M_{nom} = 0.44M_{nom}$.

Görünür ki, "*a*" halında baxılan şərtlə müqayisədə burada işəsalma cərəyanı 0.44/0.256 = 1.72 dəfə çoxdur.

11.9. MÜHƏRRİKLƏRİN ÖZÜ-ÖZÜNƏ İŞƏ DÜŞMƏSİ

Özünəişədüşmə - qidalnma mənbəyində gərginliyinqısa müddətli itrilməsindən və ya aşağı düşməsi səbəbindən baş verən pozuntulardan mühərriklərin normal iş rejimlərinin bərpa olunması prosesidir.

Özünəişədüşmənin (özü-özünə işədüşmənin) məqsədi elektrik mühərriklərinin kütləvi şəkildə açılmasına yol verməməkdir.

Özünəişədüşmə işə salınmadan aşağıdakılarla fərqlənir:

– bütöv bir mühərriklər qrupu eyni zamanda işə salınır;

– qidalanmanın bərpa olunan anında mühərriklərin bir neçəsi yaxud onların hamısı hər hansısa bir sürətlə fırlanırlar;

– özünəişədüşmə yük altında baş verir.

Öz – özünə işə düşmənin şərtlərinə görə mexanizmlər iki qrupa bölünür:

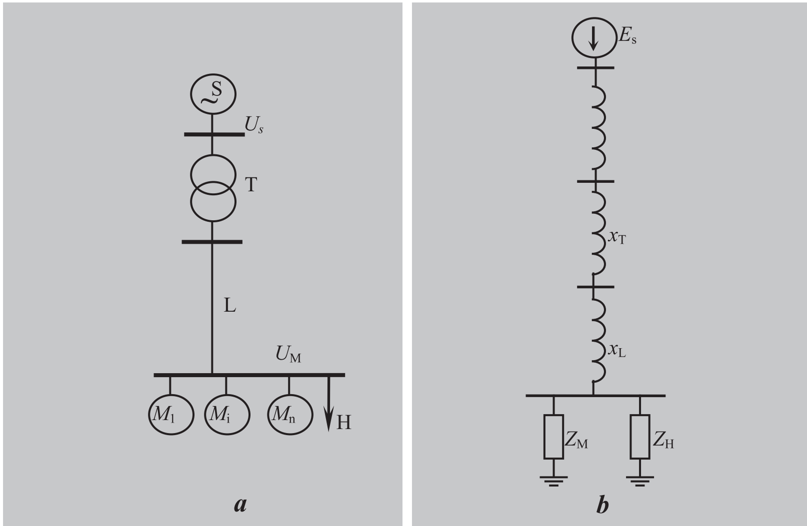
1) sabit müqavimət momenti olan və qidalanma qısa müddətdə kəsildikdə tez bir zamanda sürətini itirən mexanizmlər (şar şəkilli dəyirmanlar, transpartyorlar, yayma dəzgahları, qaldırıcı kranlar və s.);
2) ventilyator xarakteristikalı (mərkəzdən qaçma nasosları, ventilyator, tüstü soranlar, sentrifuqa və s.) momenti olan mexanizmlər. Bu qrupun özünəişədüşməsi birinci qrupa nisbətən yüngül keçir. Ona görə ki, sürətin azalması zamanı mexanizmlərin müqavimət momenti azalır.

Qidalanmada fasilə baş verdikdən sonra işə salınacaq elektrik mühərriklərin müvəffəqiyyətlə özünəişədüşməsini təmin etmək məqsədilə onların cəmi gücünü təyin edirlər. Alınan qiymətlərə uyğun olaraq texnoloji proseslərin şərtlərinə görə yaxud texniki təhlükəsizlik qaydaları üzrə açılması yol verilməz olan mühərriklər seçilir. Özünəişədüşmə rejimində açılmasına yol verilməyən elektrik mühərriklərinin güclərinin cəmi, mexanizmlərin momentindən çox olan fırlanma momentini təmin edəcək qalıq gərginliyi şərti daxilində təyin edilir.

Özünəişədüşmənin hesabatı bir neçə məsələnin həll olunmasını nəzərdə tutur:

1) Alçaq (nominaldan aşağı) gərginlikdə mühərriklərin fırlanma momentləri hesablanır və onun mexanizmlərin momentindən çox olması yoxlanılır:
2) Sürətin artma müddətinin uzanması səbəbindən mühərrikin əlavə qızma temperaturu müəyyən olunur.

Özünə işədüşmə anında mühərrikdə olan sürüşməni mühərrikin rotorunun hərəkət tənliyinin ədədi inteqrallanması ilə təyin oluna bilər. Asinxron mühərriklərin özünəişədüşməsinə baxaraq fərz edək ki, mühərrikin qidalanması onun üçün daha xarakterik olan *şək. 11.16*, *a*-da göstərilən sxem üzrə həyata keçirilir.



Şəkil 11.16. Yükün qidalandırılma sxemi: a – prinsipial sxemi; b – əvəz sxemi

Özünəişədüşmə zamanı mühərrikin sıxaclarındakı gərginlik aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$U_M = \frac{E_s Z_{ekv}}{Z_{ekv} + x_{xm}}, \tag{11.21}$$

burada $Z_{ekv} = \dfrac{Z_M \cdot Z_y}{Z_M + Z_y}$, belə ki, Z_M – qoşulmuş bütün n sayda mühərriklərin sürətini azaldan (yavaşıdan) ekvivalent mühərrikin müqavimətidir;

$x_M = x_s + x_1 + x_2$ xarici müqavimətidir.

Özünəişədüşmə anında mühərrikin müqaviməti

$$Z_M = \frac{U_{nom}^2}{S_{oi}}. \qquad (11.22)$$

burada $S_{öi}$ – özünəişədüşməsi uğrrlu olan mühərriklərin ümumi gücüdür;

U_{nom} – mühərrikin nominal gərginliyidir.

(11.22) –ni (11.21) –də yerinə yazaraq $S_{öi}$ –ni təyin edərik:

$$S_{oi} = \frac{U_{nom}^2}{Z_y x_{xm}}\left[\frac{E_C}{U_M} Z_y - \left(Z_y + x_{xm}\right)\right]. \qquad (11.23)$$

Özünəişədüşmə gücü ilə nominal güc arasındakı əlaqə aşağıdakı (mühərrikin *f.i.ə* 1-ə bərabər olduqda) şəkildədir:

$$S_{oi} = S_{nom} K_s, \qquad (11.24)$$

belə ki,

$$K_s = \left(\sqrt{1 - S_{kr}^2} \,/\, \sqrt{1 + \left(\frac{S_{kr}}{S_{oi}}\right)^2}\right) K,$$

burada K – işəsalma cərəyanının dəfəliyidir.

(11.24)-ü (11.23)-də yerinə yazaraq gücə görə özünəişədüşmə zamanı açılmayan mühərriklərin gücü adlandırıla bilən gücün ifadəsini alarıq:

$$S_{açıçılmay} = \frac{U_{nom}^2}{Z\,x_{xm} K_s}\left[\frac{E}{U} Z - \left(Z + x_{xm}\right)\right].$$

Sabit maqnit müqavimətli mexanizmlər üçün özünəişədüşmə şərtinin həyata keçirilməsinə görə mühərrikin sıxaclarında minimal yol verilən gərginlik aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$U_{M.\min} \geq \sqrt{1.1\left(M_{мех} / M_{M.\min}\right)}.$$

Ventilyator xarakteristikalı mexanizmlər üçün

$$U_{M.\min} \geq \sqrt{1.1\left(M_{мех} / M_{M.\max}\right)},$$

burada $M_{\text{M.min}}$ – mühərrikin minimal fırlanma momentidir və çox hallarda

işəsalma momentinə bərabər qəbul edilir;

$M_{\text{M.max}}$ – mühərrikin maksimal fırlanma momentidir.

Asinxron mühərriklərə nisbətən sinxron mühərriklərin özünəişədüşmə prosesi bir sıra xüsusiyyətlərə malikdir. Əgər qidalanmanın qısamüddətli fasiləsindən sonra mühərrik sinxronizmdən düşməyibsə, yaxud açılmayıbsa, onda özünəişədüşmə baş verir. Əgər mühərrik sinxronizmdən düşürsə və gərginliyin bərpa olunma anına qədər müəyyən sürüşmə ilə asinxron mühərrik kimi işləyirsə, onda onun özünəişədüşməsinə asinxron mühərriklərin işə salınması kimi (lakin yaranmış sürüşmə ilə) baxmaq lazımdır. Bu zaman təsirlənmiş mühərrik stator dövrəsində əlavə müqavimət olmadan yük şininə qoşulur.

Özünəişədüşmənin hesabatı aşağıdakı məsələləri əhatə edir:

1) elektriki yaxınlıqda yerləşən istehlakçıların iş rejiminə, özünəişədüşmənin təsirinin yoxlanılması;
2) mühərrikin sıxaclarında qalıq gərginliyinin hesabatı;
3) mühərrikin momentinin hesablanması;
4) mühərrikin işə salınma və qızma müddətlərinin təyini.

Qidalanmada fasilə zamanı mühərrikin sıxaclarındakı gərginlik dayanma prosesində onun tədricən azalan EHQ-si ilə təyin olunur.

Rotorun sürəti 20 % azaldıqda forsirovkaya malik olan mühərriklərin gərginliyi nominaldan çox olmur, forsirovkası olmayan mühərriklərdə isə nominalın 60 – 70 % -nə qədər azalır.

Özünəişədüşmə müddətində qidalanma şinində yol verilən gərginlik aşağıdakı tələblərlə təyin olunur:

1. Mühərriklərin və işıqlanmanın eyni yük şinindən qidalanması halında:
   - dövri və uzunmüddətli işəsalma zamanı ($U \geq 0.9$);
   - tək – tək və qısamüddətli işəsalma və işədüşmə zamanı ($U \geq 0.8... 0.85$).
2. Mühərriklərin və işıqlanmanın müxtəlif yük şinlərindən qidalanması halında ($U \geq 0.7....0.8$).
3. Lüminensent işıqlanması zamanı ($U \geq 0.9$).
4. Mühərriklərin blok – transformatordan qidalanması zamanı gərginlik, elektromaqnit momentinin minimal qiyməti ilə məhdudlaşır.

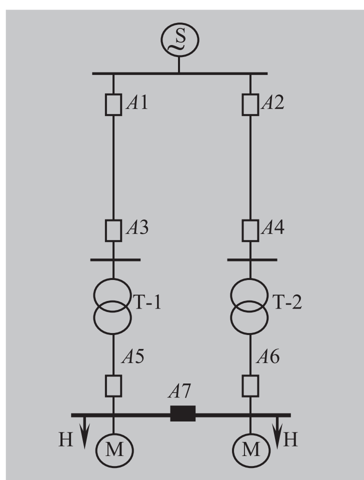
Özünəişədüşmənin həyata keçirilməsi mümkün olmadığı halda mühərrikin avtomatik resinxronlaşdırılmasından istifadə oluna bilər. Sinxronizmə girmə sinxron momentinin maksimum qiymətinin artırılmasına təsir edən təsirlənmənin forsirovkası ilə təmin olunur.

11.10. AVTOMATİK TƏKRAR QOŞMA VƏ EHTİYAT QİDALANMANIN AVTOMATİK QOŞULMASI

Elektrik sisteminin müxtəlif nöqtələrində yaranan QQ-lər keçici ola bilir, yəni kiçik zaman fasiləsindən sonra yox (ləğv) ola bilərlər. Bu halda QQ nəticəsində mühafizənin təsirindən açılmış elementin avtomatik təkrar qoşulmasının (ATQ) tətbiqi effektivdir. Əgər zədələnmiş elementin hər üç fazı açılırsa və qoşulursa ATQ üçfazalı, əgər yalnız zədələnmiş bir, yaxud iki faza açılırsa və qoşulursa birfazalı (fazalar üzrə) ATQ (BATQ) adlanır. Əgər açılma müddətində QQ öz – özünə ləğv olunursa və ATQ siklindən sonra normal iş rejimi bərpa olunursa ATQ uğurlu hesab olunur, əgər təkrar qoşma davam edən QQ-yə qoşulursa ATQ uğursuz hesab olunur. Bir, iki və çoxqat ATQ sistemləri və müvafiq olaraq bir, iki və çoxqat təkrar qoşmalar mövcuddur.

QQ – nın açılma anı ilə təkrar qoşma arasındakı zaman intervalı ATQ fasiləsi (pauzası) adlanır. Pauza müddətində QQ yerində mühitin deionizasiyası baş verir və açar başlanğıc vəziyyətinə qayıdır. Elektrik təchizatı sistemində (35kV –yə qədər olan şəbəkələrdə) ATQ –lərin pauzası 0,3...0,5 san qəbul edilir. Bu qiymətlər təyin olunarkən 6...10 kV-luq şəbəkələrdə deionizasiya başa çatması (0,07...0,09 san) nəzərə alınır, açarın məxsusi qoşulma vaxtı isə təqribən 0,25...0,3 san təşkil edir.

Hava elektrik verilişi xətlərində baş verən bütün qəza açılmalarının 60...90 % -də ATQ elektrik təchizatını bərpa etməyə imkan verir. Transformatorlarda ATQ qurğusunun quraşdırıması hallarında ATQ-ni işləməsini qadağan edən bloklayıcının nəzərdə tutulması vacibdir. Bu hal transformatorun daxilində olan zədələnmələr zamanı mühafizə (məs. qaz mühafizəsi) işlədikdə zədələnmə sahəsinin həcminin böyüməsini qarşısını alır. Bununla yanaşı məsul mühərriklər üçün onların qəza açılma larından sonra öz–özünə işə düşməsini təmin edən ATQ nəzərdə tutulur.



Ehtiyat qidalanmanın avtomatik qoşulması (EAQ) elektrik təchizatının etibarlılığının yüksəldilməsinin effektiv üsuludur. EAQ qurğusu əvvəllər elektrik stansiyalarının xüsusi sərfiyyatı üçün iştifadə olunurdu, lakin sonradan elektrik təchizatı sistemində geniş tətbiq olunmağa başlanmışdır. EAQ-dən istifadə olunmaqla yükün qidalandırılma sxemi *şək.10.17*-də göstərilib.

Şəkil 11.17. EAQ qurğusundan istifadə olunmaqla qidalandırma sxemi

Normal rejimdə sol və sağ bölmələrdən qidalanan yüklər və ekvivalent mühərriklərin hər biri müxtəlif transformatorlardan qidalanır. Əgər zədələnmə olarsa və sxemin hər-hansı bir elementi (xətt yaxud transformator) açıldıq normal rejimdə açıq olan *A7* açarı

vasitəsilə EAQ qurğusu işə düşür. Ehtiyatlanan elementdə gərginlik itdikdə EAQ sisteminin işləməsi həyata keçirilir. EAQ-nin təsir müddəti elektrik təchizatının sxemindən, elektrik mühərriklərinin özünəişədüşmə şərtlərindən və qidalanan birləşmələrin (xətlərin) rele- mühafizə və avtomatika qurğularının işləmə müddətlərindən asılıdır. Ehtiyatlandırılan sahədən qidalanan xətlərdə QQ olduqda EAQ qurğusu işə düşməməlidir. Bu əlavə dözmə müddəti və ya bloklama ilə təmin olunur.

11.11. DİNAMİK DAYANIQLIĞIN HESABLANMASI ÜZRƏ METODİK VƏ NORMATİV GÖSTƏRİŞLƏR

Dinamik dayanıqlığın hesablamasının məqsədi sistemin bir rejimdən digərinə dinamik keçidin xarakterini təyin etməkdir. Əgər bu zaman heç bir stansiya sinxronizmdən düşmürsə, belə sistem dayanıqlı hesab olunur.

Dinamik dayanıqlığı təyin etmək üçün üç qrupa bölünmüş hesablama həyəcanlanlandırıcı təsirlər qəbul edilir.

1–ci qrup. Gərginliyi 500 kV və ondan aşağı şəbəkə elementinin açılması. Əsas mühafizə işlədikdə BATQ-nin uğurlu və uğursuz işləməsi ilə müşahidə olunan birfazalı QQ .

2–ci qrup Gərginliyi 500kV-dən yüksək olan istənilən şəbəkə elementinin açılması (atom elektrik stansiyasının gərginliyi 700kV-dən yüksək olan enerjisistemlə əlaqə sxemi üçün). Gərginliyi 500kV-dən yüksək olan elektrik verilişi xəttində birfazalı QQ –dən əsas mühafizə işlədikdə uğursuz BATQ ilə müşahidə olunan açılma. İstənilən gərginlik sinifinə malik elektrik verilişi xəttində çoxfazalı QQ-dən əsas mühafizə işlədikdə uğurlu və uğursuz ATQ ilə müşahidə olunan açılma. ES-də gücünə görə ən böyük generatorun yaxud generatorlar blokunun açılması.

3–cü qrup. Bir trayektoriya ilə yarıdan çox uzunluğunda gedən iki dövrəli yaxud iki xəttin eyni zamanda açılması. Şəbəkə elementinin yaxud generatorun (generatorlar blokunun) açılması ilə yaranan və açarlardan birinin təmiri şəraitində şəbəkənin *2*-ci elementinin açılmasına səbəb oan *1*-ci və *2*-ci qrup həyəcanlanmalar.

Açarlardan birinin imtinası zamanı istənilən gərginlik sinfində olan şinlərdə yaxud EVX-də birfazalı qısaqapanma. Elektrik stansiyasının ümumi gücünün 50%-nə bərabər gücün cəmləşdiyi şinlər (bölmələr) sisteminin tam açılması ilə əlaqədar elektrik stansiyasının generatorlarının bir hissəsinin açılması, yaxud istənilən başqa səbəb nəticəsində güclərin qəza qeyri – balansının yaranması.

En kəsikdə cərəyan axını	Dinamik dayanıqlığı təmin olunan həyəcanlanma qrupları	
	Normal sxem zamanı	Təmir sxemi zamanı
Normal	1,2,3	1,2
Ağırlaşdırılmış	1,2	1

Verilmiş en kəsikdə yüksək gərginlik sinifli xətt açıldığı zaman dayanıqlıq növbəti hallarda pozula bilər:

- Nəzərədə tutlmayan normativ HT baş verdikdə;
- Statik dayanıqlıq həddi 70% -dən çox azaldıqda;
- Baxılan en kəsikdə qalan əlaqələr üzrə aperiodik statik dayanıqlıq həddi həmin en kəsikdə qeyri müntəzəm rəqslərin hesabat amplitudunun üç mislindən çox olmadıqda;
- Baxılan en kəsikdə qəza q-balansı aperiodik SD həddini 50%-dən çox üstələyirsə.

Qeyd edək ki, yuxarıda qeyd olunan hallarda en kəsik üzrə bölünmə əks-qəza avtomatikası düzgün fəaliyyət göstərdikdə qəzanın kaskadlı inkişafı və ya tezlikdən yükaçma avtomatikası həcminin kifayyət qədər olmamsı səbəbindən defisit alt sistemin tamamilə sönməsi ilə nəticələnməməlidir.

YOXLAMA SUALLARI

1. Dinamik dayanıqlığın əsas hesablama metodlarını bir – bir sayın.
2. Dinamik dayanıqlığın qrafik metodla analizinin mahiyyəti nədən ibarətdir?
3. Qısaqapanmanı açmağın bucaq həddi nə deməkdir?
4. Dinamik dayanıqlığın analizi zamanı generatorun tənliy

5. inin hansı həll metodlarından istifadə olunur?
6. Mürəkkəb sistemin dinamik dayanıqlığının hesablama alqoritmini göstərin.
7. Mühərrik yükünün dinamik dayanıqlığı necə qiymətləndirilir?
8. Mühərrikin işə salınma rejiminin xüsusiyyətləri hansılardır?
9. Mühərriklərin özünəişədüşməsi və qrup şəklində işə salınması nə deməkdir?

XII FƏSIL

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNDƏ ASİNXRON REJİMLƏR

Generatorun və ya mühərrikin elə iş rejimləri asinxron adlanır ki, həmin rejimlərdə rotorun fırlanma sürəti sinxrondan xeyli meyletmiş olur. Asinxron rejimlərə aşağıdakılar aiddir:

– sinxron maşının sinxronizmdən düşdükdən sonrakı iş rejimi;
– mühərriklərin yaxud sinxron kompensatorların asinxron işə salınması;
– mühərriklərin özünəişədüşməsi.

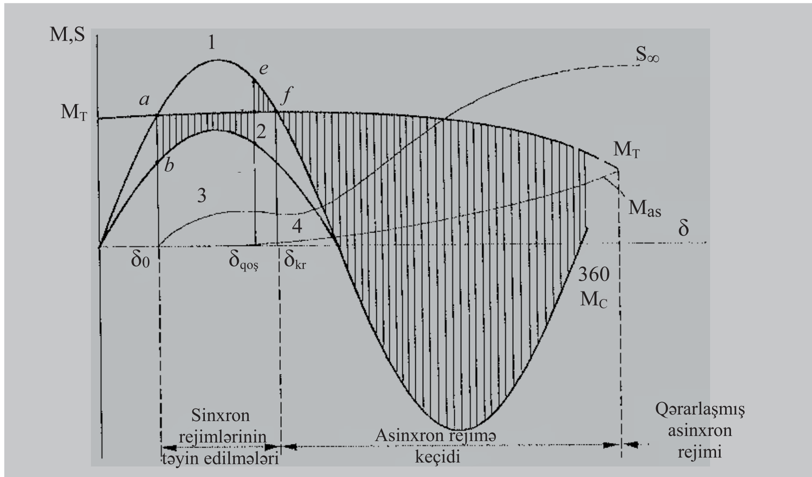
Asinxron rejimdə sinxronizmdən düşmüş sinxron maşının EHQ vektoru, sinxron işləyən maşının EHQ-nə nisbətən fırlanır.

12.1. ASİNXRON REJİMİN YARANMASI

Asinxron rejim sinxron maşının təsirlənməsini itirməsi səbəbindən dinamik dayanıqlığın pozulması nəticəsində yarana bilər.

Dinamik dayanıqlığın pozulması səbəbindən generatorun asinxron iş rejiminə keçməsinə baxaq (*şək. 12.1*). Belə hesab edək ki, *şək. 11.1*, *a*-da göstərilən sxemdəki elektrik verilişi xətlərindən biri qəflətən açılır, sonra yenidən qoşulur. Bu zaman *1* xarakteristikasından *2* xarakteristikasına və əksinə keçid baş verir (*şək. 12.1*). Lakin qoşma bucağı $\delta_{qoş.}$ o qədər böyükdür ki,

sürətləndirmə sahəsi (f_{abcd}) mümkün olan ən böyük tormozlama sahəsindən (f_{def} -dən) böyük olur.
Ekvivalent generatorun (G-nin) vektorunun bucağı δ_{kr} kritik qiyməti aşır. Rotora sürətləndirici izafi moment təsir etməyə başlayır ki, o bundan sonra δ bucağının artmasına gətirib çıxarır.



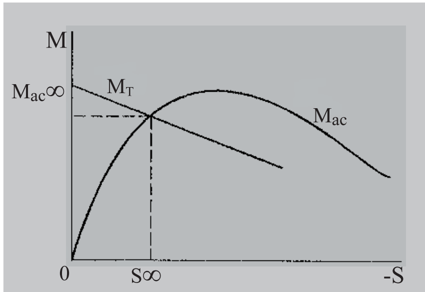
Şəkil 12.1. Sinxron generatorun asinxron rejimə keçidi: normal və asinxron rejimlərdə güc xarakteristikaları (1, 2 əyriləri); xəttin sürüşməsinin və asinxron momentin dəyişməsi (3, 4 əyriləri)

Rotorun sürəti sinxrondan fərqlənən kimi sürüşmə (S) yaranır və sürətlər arasındakı fərq artdıqca o da artır. Sürüşmə asinxron momentin yaranmasına səbəb olur ki, o da generatorun sıxaclarındakı gərginlikdən və onun parametrlərindən asılıdır və [17] dərsliyində verilən (4.61, *b*) formulu ilə təyin olunur. Belə ki, təqribi olaraq $P_{as} = M_{as} = \varphi(S)$ qəbul etmək olar.

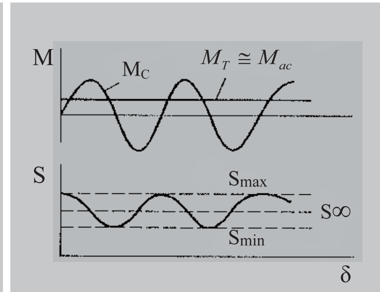
Sürüşmə artdıqca turbinin güc tənzimləyicisi təsir etməyə başlayır və P_T-ni azaldır. Sinxron gücün xarakteri dəyişərək döyünən xarakterli olur və o sürüşmənin funksiyası olduğuna görə öz növbəsində sürüşməyə təsir edərək onun döyünməsini yaradır. S_∞ sürüşmənin müəyyən qiymətində turbinin momenti orta asinxron momentlə bərabərləşəcək, yəni $M_T = M_{as}$ olacaq. Bu şərt qərarlaşmış asinxron rejimin (gedişin) başlanğıcını müəyyən edir.

12.2. QƏRARLAŞMIŞ ASİNXRON REJİM

Qərarlaşmış asinxron gediş S_∞ sürüşməsi ilə xarakterizə olunur və *şək. 12.2*-yə uyğun olaraq turbinin moment xarakteristikası ilə asinxron moment xarakteristikasının kəsişmə nöqtəsi ilə təyin olunur. Əgər sinxronizmdən düşmüş maşın təsirlənmişdirsə, o zaman bir – birini qarşılıqlı tarazlaşdıran asinxron momentlə turbinin momentindən başqa generator – turbin valına həmçinin sinxron fırladıcı momentə təsir edəcəkdir. Bu dəyişən işarəli moment asinxron rejimdə rotorun fırlanma sürətinin periodik dəyişməsini, nəticə etibarı ilə S_∞ özünün orta qiymətinin ətrafında S_{min}-dan S_{max}-a qədər dəyişən sürüşmənin döyünməsini yaradır (*şək. 12.3*) Aydın görünür ki, sinxron momentin amplitudu nə qədər böyük olarsa, döyünən sürüşmənin maksimal və minimal qiymətləri arasındakı fərq o qədər çox olar. Asinxron rejimdə generatorun rotorunun hərəkət



Şəkil 12.2. Qərarlaşmış asinxron rejimdə sürüşmənin təyini



Şəkil 12.3. Asinxron rejimdə asinxron momentin və sürüşmənin dəyişməsi

tənliyi aşağıdakı şəkildə yazıla bilər:

$$T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = M_T - M_s - M_{as} = \Sigma M. \qquad (12.1)$$

Bu bərabərliyin sol tərəfinə sürüşmə daxil edərək onu çeviririk. Mühərrikin rotorunun təcilini aşağıdakı şəkildə yaza bilərik

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\Delta\omega}{dt}, \qquad (12.2)$$

burada $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ rotorun cari və sinxron sürətləri arasındakı fərqdir. Nisbi vahidlərdə bu aşağıdakı kimi təqdim oluna bilər:

$$\Delta\omega_* = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = s. \qquad (12.3)$$

(12.3) formulunu (12.2)-də yerinə yazsaq, aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\Delta\omega_*}{dt}\frac{d\delta}{d\delta} = \Delta\omega_*\frac{d\Delta\omega}{d\delta} = s\frac{dS}{d\delta}.$$

Ona görə də, (12.1) tənliyi aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

$$T_j s\frac{dS}{d\delta} = \Sigma M. \qquad (12.4)$$

Fərz edək ki, $M_T = f\,(S)$, $M_{as} = \xi(S)$ δ bucağının funksiyası kimi verilmişdir. Onda (12.4) tənliyini inteqrallayaraq, aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$T_j\left(\frac{S_{max}^2}{2} - \frac{S^2}{2}\right) = \int_{\delta}^{\delta_{max}} \Sigma M d\delta,$$

Buradan zamanın istənilən anında sürüşmənin qiymətini aşağıdakı kimi tapmaq olar

$$S = \sqrt{S_{max}^2 - \frac{2}{T_j}T_j \int_{\delta}^{\delta_{max}} \Sigma M\, d\delta}. \qquad (12.5)$$

12.3. SİNXRON GENERATORLARIN VƏ MÜHƏRRİKLƏRİN RESİNXRONLAŞDIRILMASI

Əksər sinxron maşınlar üçün asinxron rejim təhlükə törətmir. Bu rejimin yol verilməsinə şübhə sistemin qalan hissəsində işləyən güclü generatorların asinxron işləməsi nəticəsində dayanıqlığın pozulması təhlükəsi səbəbindən yarana bilər. Bu rejimdə generator adətən, sistemdən xeyli reaktiv güc istehlak edir. Bu işə stator cərəyanının artmasına səbəb olur. Stator cərəyanının son hədd qiyməti məhdud olduğuna görə generatorun aktiv gücü də nominal gücün 50...70 %-i həddində məhdudlaşır, vahid gücü böyük olan generatorlarda isə bu qiymət 30...50% həddindədir. Bu, sistemdə aktiv gücə görə defisitin yaranmasına gətirib çıxarır ki, bu da asinxron rejimin əsas çatışmayan cəhəti hesab olunur.

Asinxron rejimdə işləmə imkanı və onun davam etmə müddəti generatorun özünün zədələnmə təhlükəsi baxımından məhdudlaşır. Turbogeneratorların asinxron rejimdə 15...30 dəqiqə işləməsinə icazə verilir, hidrogeneratorların işləməsi isə daha qısamüddətlidir və bir neçə dəqiqə təşkil edir.

Sinxronizmdən düşmüş generatoru şəbəkədən açmadan normal işləməsini bərpa etmək mümkündür. Bunun üçün onu bir müddət asinxron rejimdə saxlamaq və sonra isə *resinxronlaşdırm*a yolu ilə yenidən sinxronizmə girməyə məcbur etmək lazımdır.

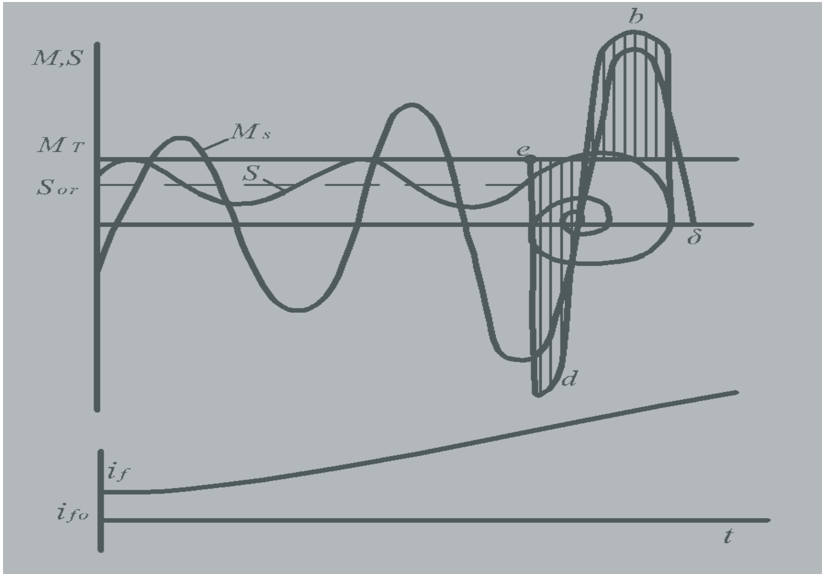
Müvəffəqiyyətli resinxronlaşdırmanın şərtlərindən birini (12.6) ifadəsindən istifadə etməklə almaq olar. Əgər asinxron rejimdə işləyən generatorun sürüşməsi sıfıra bərabər olarsa, bu generatorun sinxron fırlanma sürəti ilə fırlanmğa başladığına işarədir, bu zaman

$$S_{\max}^2 = \frac{2}{T_j}\int_{\delta}^{\delta_{\max}} \Sigma M \, d\delta.$$

Bu halda sürüşmənin orta qiyməti

$$S_{or} = \sqrt{\frac{1}{2T_j}\int_{\delta}^{\delta_{\max}} \Sigma M \, d\delta}.$$

Generatorun sinxronizmə cəlb olunması üçün $S = 0$ şərti zəruridir, lakin kafi deyildir. İkinci şərti aşkar etmək üçün *şək. 12.4*-də göstərilən resinxronlaşdırma prosesinin gedişinə baxaq. Fərz edək ki, təsirlənmə cərəyanının artırılması sinxron fırlanma momentini artırır, bü isə öz növbəsində sürüşmənin döyünməsinin artmasına



Şəkil 12.4. Sinxron generatorun resinxronlaşdırılması

səbəb olur.Sinxron momentin hansısa bir qiyməti zamanı sürüşmə sıfırdan keçəcək. Bu sinxron rejimin başlanmasını təsdiq edir. Asinxron rejimdə generatorun hərəkətini müəyyən edən artıq moment üç mürəkkəbədən ibarətdir:

$$\Sigma M = M_T - M_s - M_{as},$$

burada M_T – turbinin momenti; M_s, M_{as} – sinxron və asinxron momentlərdir. Sürüşmə sıfıra bərabər olduğu zaman asinxron

moment də sıfıra bərabər olur. Buna görə də generatorun sinxronizmə gətirilmə (cəlb olunma) şərti $M_s > M_T$ olacaqdır.

Momentlərin belə nisbəti və $S = 0$ olduqda generatorun valına tormozlayıcı izafi moment təsir edir ki, bu da δ bucağını azaldır. Generatorun rotoru δ bucağının azaldılmasına doğru hərəkət etməyə başlayır, tormozlama sahəsi *abc* sürətləndirmə sahəsi *cde* ilə bərabərləşir (tarazlaşır) və *c* nöqtəsi yaxınlığında sönən rəqslər əmələ gəlir. Təsirlənmə cərəyanının artmasının davam etməsi səbəbindən sahənin hesablanmasına sinxron momentin yüksək təsirlənmə cərəyanına (qırıq – qırıq xətlə təsvir olunub) uyğun xarakteristikasından başlanır. Qeyd etmək lazımdır ki, resinxronlaşma prosesində təsirlənmə cərəyanının artırılması generatorun sinxronizmə daha tez cəlb olunmasına, δ bucağının rəqslərinin zamana görə sakitləşdirilməsinə (dempferlənməsinə) kömək edir.

Əgər $M_s > M_T$ şərti yerinə yetirilmirsə, onda resinxronlaşdırma uğursuz olacaq, bucaq artmaqda davam edəcək, generator isə asinxron rejimdə qalacaq.

Sinxronizmə cəlb olunduqdan sonra turbinin sürət tənzimləyicisi enerji daşıyıcısının turbinə buraxılışını artırmağa başlayır ki, bunun da nəticəsində turbinin momenti artmağa başlayır. Bu sürətləndirmə (təcil) sahəsinin artırılmasına və tormozlama sahəsinin azaldılmasına gətirib çıxarır ki, o da yırğalanmanın növbəti tsikllərindən (dövrlərindən) birində sinxronizmdən düşməni yarada bilər. Sinxronizmdən düşmədən qorunmaq, təsirlənmə cərəyanını lazimi şəkildə tənzimləməklə mümkündür.

Resinxronlaşdırma prosesini turbinlərin və onların sürət tənzimləyicilərinin xarakteristikaları nəzərə alınmaqla ardıcıl intervallar metodu ilə hesablamaq olar.

Sinxron mühərriklərin sinxron rejiminin bərpa olunması texniki təhlükəsizliyin yaxud istehsalın texnologiyası şərtləri üzrə məsul mexanizmlərin işdə saxlanılmasının vacibliyi ilə yerinə yetirilir. O, müxtəlif üsullarla həyata keçirilə bilər:

– resinxronlaşdırmaqla;
– resinxronlaşdırmaqla işçi mexanizmin yükünü avtomatik olaraq o dərəcədə azaltmaq (əgər bu yol verilləndirsə) ki, mühərrikin sinxronizmə cəlb olunması təmin olunsun;
– mühərriki açmaq və təkrarən onu avtomatik işə salmaqla.

Axırıncı üsulla mühərrikin təsirlənməsini saxladıqda onun sinxron qoşulması mühüm əhəmiyyət daşıyır. Sinxronlaşdırılan mühərrikin və şəbəkənin gərginlik vektorları fazalara görə üst – üstə düşmədikdə qoşulmanın zərbə cərəyanı yaranır və o, təqribi olaraq aşağıdakı kimi təyin oluna bilər:

$$I_{zer.qoş.} = \sqrt{2}\,\frac{1.8\Delta E''}{\left(x''_M + x_s\right)},$$

burada E'' – mühərrikin E''_q EHQ -si ilə şəbəkənin gərginliyi arasında həndəsi fərqdir;

x''_M və x_s – mühərrikin və sistemin müqavimətləridir.

δ = π olduqda zərbə cərəyanı ən böyük qiymətə malik olur və mühərrikin qoşulması zamanı onun dolağını zədələyə bilər.

Bunun qarşısını almaq üçün sürətli sinxronlaşdırmadan istifadə etmək olar [8]. Əgər sürətli sinxronlaşdırmanı həyata keçirən qurğunun fəaliyyət alqoritmi sinxronlaşdırılan şinlərdə gərginliklərin ani qiymətlərinin qeydiyyatını həyat keçirirsə, o zaman resinxronlaşdırmanı həyata keçirən açarın çıxışları üzrə gərginliklərin qiymətlərinin daimi müqayisəsi yerinə yetirilir. $\Delta U = U_1 - U_2$ fərqi, ölçünün xətasından asılı olaraq əvvəlcədən verilən ε-nun qiymətindən çox olan kimi $\mathbf{U}_1$ və $\mathbf{U}_2$ vektorlarının aralanmasının təcili təyin olunur:

$$\alpha = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\Delta t},$$

burada ω_1 və ω_2 – $\mathbf{U}_1$ və $\mathbf{U}_2$ gərginlik vektorlarının fırlanma sürətləridir;

Δt – sürətin ω_1-dən ω_2-yə qədər artmasının baş verdiyi müddətdir.

Təcil təyin olunduqdan sonra cari bucaq və qabaqlama bucağı hesablanır. Cari bucaq U_1 və U_2 gərginliklərinin sıfırdan keçmə anına görə təyin edilir. Mühərrikin rotorunun bucağının δ = 2π qiymətində dönməsindən sonra onu qoşmaq üçün zamanı bir qədər qabaqlamaqla açarın qoşulmasına komanda vermək lazımdır. Bu zaman qabaqlama bucağını aşağıdakı ifadədən təyin edirlər:

$$\delta_{qab} = St_{q.m} + \frac{\alpha t_{q.m}}{2},$$

burada S, α – rotorun sürüşməsinin və sürətlənməsinin cari qiyməti;
$t_{q.m}$ – mühərrikin qoşulmasının məxsusi zaman müddətidir.
Açarın işləmə şərti $\delta_{aç.} = \delta_{işlə.} + \delta_{qab.} > 2\pi$ şəklində yazılır. Bunun yerinə yetirilməsi zamanı açarın qoşulmasına siqnal verilir. Mühərrikin qidalanmasının qısa müddətdə itməsi halında qeyd olunan bu alqoritm sürətli sinxronlaşdırmanı təmin edir. Qidalanmanın itməsi qidalandırıcı şəbəkədə QQ nəticəsində yaxud onun açılması və sonradan onun yenidən ATQ qurğusu ilə qoşulması səbəbindən ola bilər.

YOXLAMA SUALLARI

1. Asinxron gedişin baş verməsinin səbəbi nədən ibarətdir?
2. Qərarlaşmış asinxron rejim nə vaxt baş verir?
3. Qərarlaşmış asinxron rejimin hansı xüsusiyyətləri vardır?
4. Sinxron maşının resinxronlaşdırılması prosesinin mahiyyəti nədən ibarətdir?
5. Müvəffəqiyyətli resinxronlaşdırılmanın şərtlərini izah edin.

XIII F Ə S İ L

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNİN DAYANIQLIĞININ YAXŞILAŞDIRILMASI ÜZRƏ TƏDBİRLƏR

Statik və dinamik dayanıqlığın hesablanması metodlarının analizi dayanıqlığa təsir edən bir sıra faktorları üzə müəyyən etmişdir. Bu faktorları nəzərə alaraq EES-nin idarə olunmasının müüasir praktikasında dayanıqlığın yüksəldilməsi müxtəlif vasitələri üzündə ehtiva edir. O cümlədən smart texnolojiyaların tətbiqi bu vasitələr kompleksinin daha da genişlənməısinə şərait yaratmışdır.

Ümumiyyətlə EES-nin SD-ın yüksəldilməsində istifadə olunan vasitəlrin əsas fəaliyyəti elektrik stansiyaları arasında qarşılıqlı müqavimətin azaldılmasına və ötürülən yükün artırılması zamanı bu stansiyaların EHQ-nin yüksəldilməsinə yönəldilir. DD yüksəldilməsi vasitələrinin fəaliyyəti isə böyük həyacanlandırıcı təsirlərdən aqreqatların valında yaranan fırlanma və tomuzalyıcı momentin qeyri balansının azalmasına və qeyri balansın davamlığının azalmasına yönəldilir.

Elektrik sisteminin dayanıqlıq səviyyəsini artırmaq onun elementlərinin parametrlərini və rejim parametrlərini dəyişdirməklə, yaxud əlavə qurğular daxil etməklə mümkündür. Ümumiyyətlə, dayanıqlıq səviyyəsinin yüksəldilməsi məqsədilə bütün texniki vasitəlri üç qrupda sistemləşdirmək olar:

– dispetçer nəzarəti və rejimlərin idarə olunması üçün vasitələr;
– enerji sistemlərinin avtomatik tənzimlənmə sisitem və qurğuları;
– enerji sisiteminin əks-qəza avtomatikası

Qeyd olunalarla yanaşı aşağıda göstərilən şərtlər və məhdudiyyətlərin nəzərə alınması zəruridir:

– əsas elementlərin parametrlərinin dəyişdirilməsi sistemin normal iş rejiminin və onun qənaətliyinin pisləşməsinə səbəb olmamalıdır;
– dayanıqlığın yüksəldilməsi üçün tələb olunan qurğunun tətbiqi həmin qurğunun dəyəri ilə hər hansı səbəbdən dayanıqlığın pozulması nəticəsində dəyəcək (qurğunun tətbiqindən sonra qarşısı alınacaq) ziyan müqayisə olunaraq göstərilməlidir. Dayanıqlığın yüksəldilməsi üzrə tədbirlərin seçilməsi zamanı təklif olunan variantın texniki – iqtisadi qiymətləndirilməsi aparılmalıdır.

13.1. ELEKTRİK SİSTEMİ ELEMENTLƏRİNİN PARAMETRLƏRİNİN YAXŞILAŞDIRILMASINA ƏSASLANAN TƏDBİRLƏR

Generatorlar. Generatorların parametrləri həm statik, həm də dinamik dayanıqlığa kifayət qədər təsir edir.

Generatorlarda qeyri – həssas zonalı TAT-dan istifadə olunduqda statik dayanıqlığa sinxron induktiv müqvimət – x_d, dinamik dayanıqlığa isə keçid müqaviməti x'_d və inersiya sabiti T_j təsir edir. Resinxronlaşdırmanı həyata keçirən zaman asinxron rejimdə qedən proseslər dempfer dolağının olması və konstruksiyası ilə təyin olunur ki, bunlar da öz əksini x''_d x''_q parametrlərində tapır.

Hidrogeneratorlar fərdi hazırlandıqları üçün yalnız onların induktiv müqavimətlərinin dəyişdirilməsi imkanı vardır. Bəzi su elektrik stansiyalarında (SES) "yaxşılaşdırılmış" parametrli xüsusi hidrogeneratorlar quraşdırılmışdır. Buna misal olaraq Rusiya Vahid Enerjisistemində istismarda olan "Volski" SES-i göstərmək olar. Bu stansiyada quraşdırılan hidrogeneratorların müqavimətləri adi hidrogeneratorlara nisbətən təxminən iki dəfə azaldılmışdır (x_d = 0,51, x'_d = 0,19), inersiya sabiti isə 0,16 saniyəyə qədər artırılmışdır. Turbogeneratorlar və mühərriklər adətən, vahid seriyalarla hazırlandıqlarından onların parametrlərinin dəyişdirilməsi çətin həyata keçirilir.

İnersiya sabiti maşının dinamik dayanıqlığına kifayət qədər təsir edir. Maşın nə qədər "ağır" (T_j böyük olduqca) olarsa onun rotorunun sürəti əlavə momentin təsiri altında bir o qədər yavaş dəyişir. Bu sistemin dayanıqlığını artırmaqla qəza rejiminin davamiyyətinin yol verilən hədd qiymətini artırır.

Sinxron maşının təsirlənməsinin tənzimlənməsinə onun parametrlərinin "yaxşılaşdırma" vasitəsi kimi baxıla bilər. Bu yüksək qiymətə malik təsirlənmə cərəyanlı generatorun cəldtəsirli tənzimləyicisi, dinamik dayanıqlığın yüksəldilməsi üzrə əlavə qurğu ilə birlikdə induktiv müqavimətin azaldılmasından imtina etməyə imkan verir. İmkan yaranır ki, x_d = 1,5...2,0 və x'_d = 0,3...0,4 parametrli generator tətbiq olunsun, maşının çəkisini azaltmaqla onun inersiya sabiti azaldılsın və müvafiq olaraq onun qiyməti azaldılsın.

Təsirlənmənin ən yüksək gərginliyi generatorun verdiyi gücün həddinə nəzərə çarpacaq dərəcədə təsir edir. Bu qiymətin 2-dən 5-ə qədər artırılması x_d reaktivliyinin 1,5 dəfə azaldılarkən alınan effekt qədər effekt verir.

Təsirlənmənin artma sürəti dinamik dayanıqlığın səviyyəsinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. "Yüksəkreaksiyalı" təsirlənmə sistemlərində dU_t /dt nisbətinin qiyməti saniyədə bir neçə kilovolt olaraq 6...8-ə qədər çatır. Odur ki, dinamik dayanıqlığın səviyyəsini yüksəltmək üçün gərginliyin yüksək sürətlə və ən yüksək səviyyəyə çatması lazımdır.

Statik dayanıqlığı yaxşılaşdırmaq üçün qeyri – həssaslıq zonasının olmaması, təsirlənmənin fasiləsiz tənzimlənməsi, tənzimlənmənin yalnız tənzimlənən parametrlərin meyletməsinə görə deyil, həmçinin onların birinci və ikinci törəməsi ilə həyata keçirmək vacibdir.

Transformatorlar. Transformatorların parametrləri (müqaviməti, maqnitləşdirici cərəyanı və s.) elektrik sisteminin dayanıqlığına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərmir.

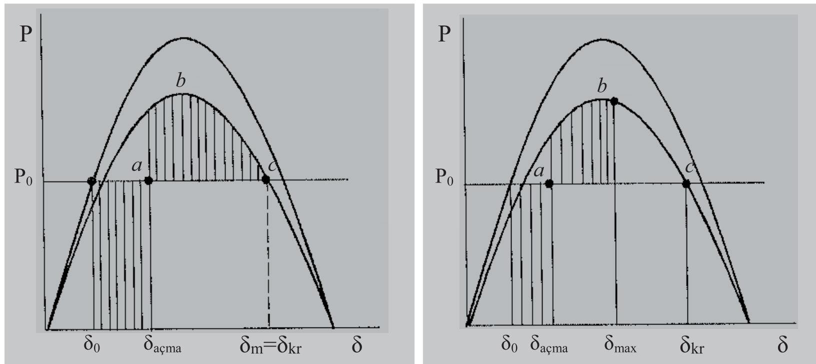
Açarlar. Dinamik dayanıqlığı yaxşılaşdırmaq üçün QQ-nın tez bir zamanda açılmasının həlledici əhəmiyyəti vardır. Bu vasitənin effektivliyi generatorun surətlənmə periodunun davamlılığının azaldılması ilə sadə izaha malikdir. Qısaqapanmanın açılma müddəti açarın məxsusi zaman müddəti ilə rele mühafizəsinin təsir müddətinin cəmindən ibarətdir:

$$T_{açma} = t_{aç} + t_{r.m}.$$

Müasir hava açarlarının məxsusi zaman müddəti (mühafizədən solenoidin sarğacına, impulsun verilmə anından kontaktların aralanmasına və qövsün söndürülməsinə qədər keçən müddət) 0,06...0,08 saniyə təşkil edir. Cəldtəsirli rele mühafizəsi 0,02...0,04 saniyəyə işləyir. Odur ki, QQ-nin açılma müddəti 0,1...0,12 san. qəbul olunmalıdır. Sonradan bu müddətin 0,05...0,08 saniyəyə qədər azaldılması mümkündür. Lakin bu halda keçid prosesinin rele mühafizəsinə təsirini diqqətlə yoxlamaq lazımdır.

Qısaqapanmanın açılma müddətinin azaldılması, *şək. 13.1*-dən göründüyü kimi dinamik dayanıqlığın ehtiyatını artırır. *Şək. 13.1 b*-də QQ-nın açılma bucağı *şək. 12.1 a*-ya nisbətən azalmışdır. Bu dinamik dayanıqlığın ehtiyatını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Elektrik verilişi xətti. Xəttin parametrləri və onların nominal qiymətləri sistemin dayanıqlığına əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir.



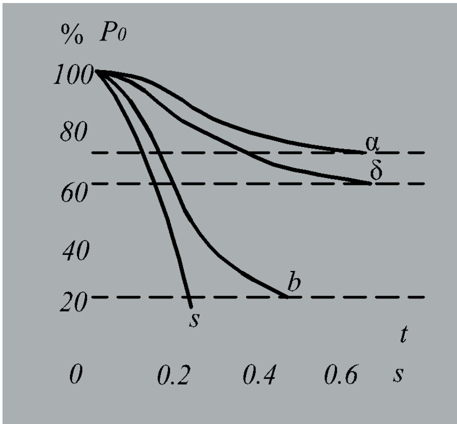
Şəkil 13.1. Cəldtəsirli açarların dinamik dayanıqlığına təsiri
a – qq-nın normal açılma müddəti ilə,
b – qq-nın açılma müddətinin azaldılması nəzzərə alınmaqla .

Şək. 13.2-də iki dövrəli EVX vasitəsi ilə sonsuz güclü sistemə işləyən hidroelektrik stansiyası sxemi üzrə güc verilişinin ötürmə həddinin qq-nın açılma zamanından asılığı verilmişdir. QQ

nəticəsində bir dövrə aşılmaqla digər dövrə fəaliyyətini davam etdirir.

Səkildən göründüyü kimi, qq-nın açılma zamanı “0” olduqda güc verilişinin ötürmə həddi 100% səviyyəsində formalaşır.

Qeyd etmək lazımdır ki, kommutasiya qurğularının və müavafiq olaraq rele mühafizəsi və avtomatikasının cəldtəsirli fəaliyyəti bəzi hallarda qeyri selektriv açılmalara və generatorların yırğalanmasına səbəb ola bilir. Bu mənada qeyd olunan məsələ diqqətdə saxlanlmalıdır.



Şəkil 13.2. Güc verilişi həddinin qq-nın açılma zamanından asılılığı.a – bir fazlı qq, b – iki fazlı qq, c – yerlə ikifazlı qq, e – üçfazlı qq.

Ötürülən gücün hədd qiymətinə xəttin nominal gərginliyinin təsirini təyin etmək üçün $U_b \cong U_{nom}$ qəbul edərək (3.10) – (3.12) ifadələrindən istifadə edək, onda

$$x_{G*b} = x_{G*n} \frac{S_b}{S_{nomG}}, \quad x_{T*b} = \frac{U_K\%}{100} \frac{S_б}{S_{nomT}}, \quad x_{L*b} = x_0 l \frac{S_b}{U^2_{nom\,L}}.$$

Burada x_{G*b} və x_{T*b} müqavimətləri $U_{nom\,L}$ -dən asılı deyil, lakin x_{L*b} gərginliyin kvadratına mütənasibdir. Generator, xətt və transformatordan ibarət olan və U gərginlikli şinlər sisteminə işləyən elektrik verilişinin güc ötürmə həddinin qiyməti aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$P_{hedd} = \frac{E_G U}{x_{G*b} + x_{T*b} + \frac{x_0 l S_b}{U^2_{nom\,L}}} = \frac{E_G U}{\left(x_{(G-T)\Sigma} + \frac{a}{U^2_{nom\,L}} \right)}$$

Buradan görünür ki, xəttin nominal gərginliyinin artması $P_{\text{hədd}}$ -i artırır və bu artım, uzun xətlərdə daha da çox olur.

Xəttin induktiv müqavimətini xətt naqilinin en kəsiyini hissələrə bölməklə azaltmaq olar. Bundan həmçinin, tac itkisini azaltmaq məqsədilə də istifadə olunur. Faza naqilinin en kəsiyinin üç hissəyə bölünməsi (500 kV-lik HX) xəttin reaktiv müqavimətini 25 – 30% azaldır.

Xəttin induktiv müqavimətinin azaldılmasını xəttə ardıcıl olmaqla statik kondensatoru qoşaraq onun uzununa reaktiv (tutum) müqavimətini kompensasiya etməklə həyata keçirmək olar. Bu zaman xəttin ekvivalent müqaviməti (parametrlərin paylanması nəzərə alınmaqla) aşağıdakı kimi təyin olunacaq:

$$x_{ekv} = x_0 l - x_c .$$

Kondensatorun x_c müqaviməti nə qədər çox olarsa, xəttin parametrlərinin kompensasiya dərəcəsi bir o qədər yüksək olacaq və müvafiq olaraq elektrik verilişinin güc ötürmə həddi (tərkibində kompensasiya olunmuş xətt olmaqla) yüksək olacaq. Uzaq məsafələrə elektrik verilişində xətlə ötürülən güc həddini artırmaq üçün xəttin uzununa hissəsində aralıqda sinxron kompensatorlar və idarəolunan kondensatorlar quraşdırırlar.

Elektrik təchizatı sistemlərində uzununa tutum kompensasiyasından güclü cərəyankeçiricilərdə gərginlik düşgüsünü azaltmaq və yük mühərriklərinin dayanıqlığını artırmaq üçün istifadə olunur.

13.2. DAYANIQLIQ SƏVİYYƏSİNİN ARTIRILMASI ÜÇÜN ƏLAVƏ QURĞULAR

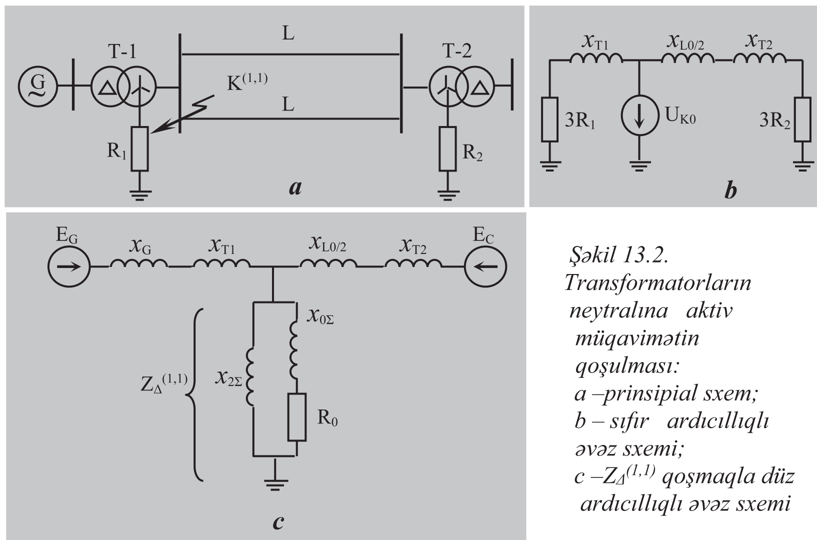
Transformatorun neytralına qoşulmuş müqavimət. Əgər neytralı yerlə birbaşa birləşdirilmiş şəbəkəni onun neytralının gərginliyini yüksəltməyən kiçik bir müqavimət vasitəsilə yerlə birləşdirsək, onda izolyasiyanın işləmə şəraiti dəyişməyəcəkdir, lakin qeyri – simmetrik QQ zamanı sistemin dinamik dayanıqlığı yaxşılaşacaqdır.

Şək. 13.2 a-də göstərilən elektik verilişi sxemində qeyri–simmetrik QQ-yə baxaq. Aktiv müqavimətlər nəzərə alınmaqla sıfır ardıcıllıqlı əvəz sxemi *şək. 13.2*, *b*-də göstərilib. Sxemdən görünür ki, aktiv müqavimət sıfır ardıcıllığının ümumi müqavimətini artırır:

$$Z_{0\Sigma} = \left(3R_1 + jx_{T1}\right) // \left[\left(3R_2 + j\left(x_{L0}/2 + x_{T2}\right)\right)\right].$$

Bunun nəticəsində də QQ şuntunun müqaviməti artır.

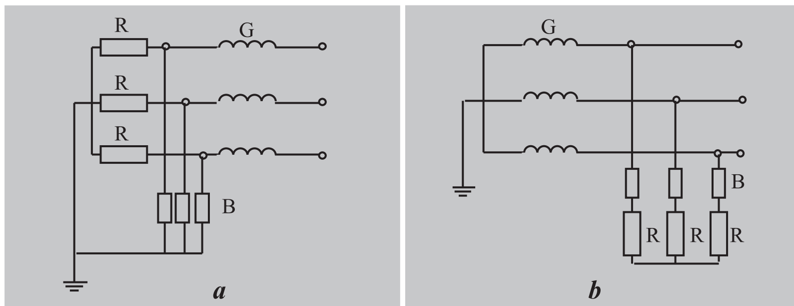
$$Z_{\Delta}^{(1.1)} = x_{2\Sigma} // Z_{0\Sigma}.$$



Şəkil 13.2. Transformatorların neytralına aktiv müqavimətin qoşulması: a –prinsipial sxem; b – sıfır ardıcıllıqlı əvəz sxemi; c –$Z_{\Delta}^{(1,1)}$ qoşmaqla düz ardıcıllıqlı əvəz sxemi

Onda (11.2) ifadəsinə müvafiq olaraq düz ardıcıllıqlı sxemin (*şək. 13.2, c*) qarşılıqlı müqviməti azalacaq. Bu qəza rejiminin güc xarakteristikasının amplitudunun artmasına səbəb olacaq (*şək. 10.3*-də *2* xarakteristikasına baxın) *abcd* sahəsini azaldacaqdır. Sürətləndirmə sahəsinin azaldılması dinamik dayanıqlığı artırır.

Generatorların elektriki tormozlaması simmetrik QQ zamanı dayanıqlığın yüksəldilməsi üçün istifadə olunur. Rotoru hər hansı səbəbdən həyəcanlanaraq sürətlənən generator, ardıcıl yaxud paralel qoşulmuş müqavimətlər vasitəsilə tormozlanır (*şək. 13.3*). Müqavimətlərin paralel qoşulması daha effektlidir.



Şəkil 13.3.Generatorların elektriki tormozlanması: a –ardıcıl; b –paralel qoşulma

Turbinin tənzimlənməsi. Generatorun həyəcanlanması zamanı yaranan güc qeyri – balansı turbinin gücünün azaldılması ilə azaldıla və yaxud tamamilə kompensasiya oluna bilər. Əgər turbinin tənzimləyici inersiyası olmazsa, yəni elektrik gücünün dəyişməsinə ani olaraq reaksiya verərsə, müvafiq olaraq mexaniki gücü dəyişər, onda dinamik dayanıqlığın mümkün ola biləcək pozulması aradan qaldırılmış olar. Lakin turbinlərin adi tənzimləyiciləri xeyli qeyri – həssaslıq zonalı inersiyalı sistemdir. Generatorların yırğalanması zamanı onlar sürətin dəyişməsinə reaksiya vermirlər. Bundan başqa nəzərə almaq lazımdır ki, enerjidaşıyıcının buraxılmasının ani olaraq tez bir zamanda dayandırılması hidravlik zərbəyə (hidroturbin olduqda) səbəb olur və ya buxar turbinin tənzimləyici klapanı ilə birinci cərgə ucluqlar arasındakı həcmdə buxarın genişlənməsinə

səbəb olur. Bu hadisə tənzimləmə sistemində əlavə mexaniki qüvvə yaradır.

Qaz turbinləri böyük tənzimləmə qabiliyyətlərinə malikdirlər. Bu turbinlərdə sinxron generatorların yırğalanması zamanı mexaniki gücün tez bir zamanda dəyişməsi mümkün olur.

13.3. DAYANIQLIĞIN YÜKSƏLDİLMƏSİ ÜZRƏ REJİM TƏDBİRLƏRİ

Sistemin elementlərinin parametrlərini dəyişdirmədən və əlavə elementlər daxil etmədən statik və dinamik dayanıqlığın səviyyəsini yüksəltmək olar. Sistemin rejim parametrlərini məqsədəyönlü dəyişdirərək, zəruri güc ehtiyatını təmin etməklə dayanıqlıq ehtiyatını əhəmiyyətli dərəcədə artırmaq mümkündür.

Elektrik stansiyalarında *aktiv güc ehtiyyatı* həm statik, həm də dinamik dayanıqlıq qabiliyyətini yaxşılaşdırır. Bir neçə növ ehtiyatlar mövcuddur: qəza, yükə görə, təmir. Güclü elektrik verilişi xəttinin açılması yaxud generatorların sinxronizmdən düşməsi halında daxil edilən fırlanan qəza ehtiyatı ancaq keçid proseslərinin yaxşılaşdırılmasına kömək edə bilər. Minimum vacib olan ehtiyatın qiyməti ən ağır qəzanın ehtimal olunması ilə təyin olunur və sistemin sxemindən, təsirlənmənin tənzimləmə üsulundan və s. asılıdır.

Generatorların tam yüklənməməsi hesabına alınan *reaktiv güc ehtiyatı* reaktiv gücün ilkin rejimində dayanıqlığın zəifləməsinə səbəb olur. Bu halda generator kiçik təsirlənmə cərəyanı və böyük başlanğıc bucağı ilə işləyir.

Tezliyə görə yükün avtomatik azaldılması (TYA). Sistemdə tezliyin azalması aktiv güc balansının pozulması səbəbindən yaranır, yəni tələb olunan aktiv yükün gücü generatorların verdiyi gücdən çox olduqda yaranır. Tezlik azalan zaman generatorların istehsal etdiyi reaktiv güc azalır, lakin yükün istifadə etdiyi reaktiv güc artır. Bu yük düyünündə gərginliyi aşağı salır və bəzi hallarda tezlik və gərginliyin selvari azalmasına səbəb olur ki, bunun da nəticəsində istehlakçıların kütləvi şəkildə açılması və paralel iş rejiminin dayanıqlığının pozulması baş verir. Tezlik təhlükəli həddə qədər azaldıqda elektrik sisteminin yükünün bir hissəsi avtomatik olaraq

dövrədən açılır. TYA həm elektrik sisteminin dayanıqlığını artırır, həm də onun ayrı – ayrı yük düyünlərinin dayanıqlığını artırmaqla gərginliyi selvari azalmasını aradan qaldırır. Nəticədə məsul yüklərin əsas kütləsinin normal iş rejimi təmin olunur. Sənaye müəssisələrinin TYA sisteminə qoşulduqda qidalanmasında fasilələr zamanı texnoloji proseslərin fasiləsiz elektrik enerjisi ilə təmin olunması zəruriyyətini nəzərə alınması vacibdir.

Elektrik sisteminin *birləşmə sxemləri* və onun ilkin rejiminin seçilməsi dayanıqlığı əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Sistemin sxeminin qiymətləndirilməsi zamanı istifadə olunan kriterilərdən biri sxemin “sərtliyi” anlayışıdır. Sxemin hər hansı bir düyün nöqtəsinin sərtliyi yükün dəyişməsilə xarakterizə olunur. Həmin bu yükdə vahid qəbul edilmiş hər hansı qiymətə görə gərginliyin fazı və kəmiyyəti ölçüləcək. Sərtlik, sistemin düyün nöqtələrini əlaqələndirən nisbi müqavimətlərdən asılıdır. Düyün nöqtələri gərginliyinin faz və kəmiyyətcə qiyməti nə qədər az dəyişirsə, nə qədər bu düyün nöqtələri bir – biri ilə sıx əlaqələnmişdirsə, sistemin sərtliyi bir o qədər çox olur. Sxemin sərtliyinin artırılması statik dayanıqlığı, həmçinin sistemin qəzadan sonrakı rejimini yaxşılaşdırır. Lakin sərtlik əmsalı yüksək olan sxemlərdə QQ cərəyanının səviyyəsi yüksək olduğuna görə güc avadanlıqları və rele mühafizəsinin iş şəraitini ağırlaşdırır.

Elektrik sisteminin qeyri – sinxron işləyən hissələrə *bölünməsi* onun dinamik dayanıqlığının pozulmasını aradan qaldıra bilər. Hər bir elektrik sistemində əvvəlcədən elə bir nöqtə və ya en kəsik müəyyən edirlər ki, həmin yerdə bölünmənin aparılması hər hansı bir fəsadsiz yerinə yetirilə bilər. Sistemin bölünməsi onu zəiflədir, ona görə də bu yalnız onda tövsiyə edilə bilər ki, bu dinamik dayanıqlığın saxlanılmasının yeganə üsulu olsun.

YOXLAMA SUALLARI

1. Elektrik sisteminin dayanıqlığının yaxşılaşdırılması üzrə əsas tələblər hansılardır?

2. Elektrik sisteminin əsas parametrlərinin yaxşılaşdırılmasına əsaslanan tədbirlərin mahiyyəti nədən ibarətdir?
3. Dayanıqlığın yaxşılaşdırılması üzrə əlavə tədbirlər hansılardır?
4. Dayanıqlığın yaxşılaşdırılması üzrə rejim tədbirlərini izah edin.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. N.A. Yusifbəyli, H.B. Quliyev, V.T. Əliyev. Energetika sahəsinin əsas terminlərinin izahlı lüğəti. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Standartı, AZS 591-2011, AR Standartlaşdırma, Metrologiya və Patent üzrə DK-nın 079 saylı, 13.05.2011 tarixli əmri ilə təsdiqlənmişdir.
2. Вагнер К.Ф., Эванс Р.Д. Метод симметричных составляющих. – М.; Л.: Энергоиздат, 1993. – 182с.
3. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1970. – 520с.
4. Неклепаев Б.Н. координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электрических системах. – М.: Энергия, 1978. – 152с.
5. Методические указания по определению устойчивости энергосистем. Ч.1. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1979. – 184с.
6. Ульянов С.А. Сборник задач по электромагнитным переходным процессам в электрических системах. – М.: Энергия, 1969. – 456с.
7. Винославский В.Н. и др. Переходные процессы в системах электроснабжения. – Киев: Высшая шк., 1989. – 422с.
8. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / Под ред. Л.Г. Мамикоянца. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 216с.
9. Карамышев Е.В., Куликов Ю.А., Чебан В.М., Щойко В.П. Автоматизация процессов ускоренного восстановления схем электрической системы // Проблемы повышения надежности и экономичности электроэнергетических систем: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. В. М. Чебана. – Новосибирск: Изд – во НЭТИ, 1990. – С. 70 – 76.
10. Заславская Т.Б., Куликов Ю.А. Энергетические соотношения, характеризующие переходный процесс в длинной линии // Тр. СибНИИЭ. – М.: Энергия, 1975. – Вып. 26. – С. 95 – 104.
11. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1964. – 640с.
12. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Ч.1. – М.: Энергия, 1967. – 522с.

13. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110 – 750 кВ: Руководящие указания по релейной защите. – М.: Энергия, 1979. – Вып. 11. – 152с.
14. Жданов П.С., Лебедев С.А. Устойчивость параллельной работы электрических систем. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1934. – 397с.
15. Аленицин А.Г. и др. Краткий физико – математический справочник. – М.: Наука, 1990. – 368с.
16. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / Под ред. Л.А. Жукова. – М.: Энергия, 1979. – 456с.
17. Электрические системы / Под ред. В.А. Веникова. М.: Высшая шк., 1971. – 451с.
18. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая шк., 1970. – 472с.
19. Электротехнический справочник. Т. 3. Кн.1: Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. – Изд. 6 – е. – М.: Энергоиздат, 1982. – 656с.
20. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: ЭАИ, 1990. – 576с.
21. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения / Под ред. И.А. Баумштейна, С.А. Бажанова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 768с.
22. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 648с.
23. Инструкция по проектированию электросилового и осветительного оборудования: СН357 – 77. М.: Стройиздат, 1970.
24. Обердорфер Г. Расчеты по методу симметричных составляющих. – М.: Гос. науч. – техн. изд – во, 1931. – 111с.
25. Bergen A.A. Power System Analysis. – New Jersey: PRENTICE – HALL, Enlewood Cliffs, 1986. – 529p.
26. Kimbark E.W. Power System Stability. Vol. 1: Elements Stability Calculations. – N.Y.: John Wiley & Sons In.,1957.
27. Каганов З.Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248с.
28. Лосев С.Б., Чернин А.Б. Вычисление электрических величин в несимметричных режимах электрических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 528с.
29. Серебрянников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. – М., 1965.
30. Заславская Т.Б., Куликов Ю.А., Пушкарева Л.И. Алгоритм и программа выделения составляющих токов и напряжений при коротких замыканиях в длинных линиях // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. – 1974. – Вып. 2, № 8. – С. 130 – 136.
31. Куликов Ю.А. Свободные составляющие токов и напряжений при коротком замыкании в настроенных ЛЭП и их влияние на действие релейной защиты: дис. … канд. техн. наук. – Новосибирск, 1974.

32. Куликов Ю.А. Влияние короны на параметры свободных составляющих переходного процесса в дальних электропередачах // Управление режимами и развитием энергетических систем в условиях АСУ: Межвуз. сб. науч. тр. / Отв. ред. В.К. Щербаков. – Новосибирск: Изд – во НЭТИ, 1977. – С. 156 – 159.
33. Куликов Ю.А., Жанаев Д.Т. Влияние разрядников на работу релейной защиты дальних электропередач // Режимы и устойчивость электрических систем: Сб. науч. трудов / Под ред. В.М. Чебана. – Новосибирск: Изд – во НЭТИ, 1974. – С. 190 – 197.
34. Куликов Ю.А., Заславская Т.Б., Пушкарева Л.И. Способ защиты настроенной линии электропередачи. – Авт. свид. № 738038. Опубликовано 30.05.1980, БИ № 20.
35. Якупов В.С. Электропроводность и геоэлектрический разрез мерзлых толщ // Тр. Сев. – вост. комплесного НИИ. Вып. 20. – М.: Наука, 1968.

Ə L A V Ə L Ə R

Ə l a v ə   1

Dinamikanın əsas bərabərlikləri

Nyutonun ikinci qanunu. Cismin təcili a cismə təsir edən F qüvvəsi ilə düz və m kütləsi ilə tərs mütənasibdir:

$$a = F/m.$$

Иnyutonun ikinci qnunundan belə nəticəyə gəlmək olar ki, kütlə cismin inersiya xasəsini xarakterizə edir:: cism öz hərəkət vəziyyətini yalnız xarici qüvvənin təsiri nəticəsində dəyişir. Kütlə anlayışından istifadə edərək, dinamikanının əsas bərəbərliyi şəklində qüvvə (səbəbə) və təcil (nəticə) arasında münasibətləri növbəti formula ilə ifadə edə bilərik:

$$F = ma.$$

Firlanan hərəkətin dinamikası üçün dinamikanının əsas bərəbərliyi növbəti şəkildə olacaq:

$$\Delta M = ma,$$

Burada, ΔM –cismə təsir edən qüvvənin tam momenti (bütün qüvvələr mommeinin cəminə bərabərdir),)Hm);
a – bərk cismin fırlandığı bucaq təcili, (rad/s^{2_2});
J – cismin inersiya momenti (kqм^2), firlanan hərəkətdə, irəliləyən hərəkətdə kütlənin oynadığı rol ilə eynilik təşkil edir.
Δm kütləsi olan və hər biri r_i rdiuslu çevrə üzrə hərəkət edən n elemetdən ibarət cismin inersiya momenti növbəti şəkildə ifadə etmək olar:

$$J = \sum_{1}^{n} r_i^2 \Delta m_i .$$

Kütələnin qeyri- bərabər paylanması halında isə aşağıdakı şəkildə olacaq:

$$J = \sum_{1}^{m_{tam}} r_i^2 dm_i \,.$$

Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, cismin inersiya momenti onun kütləsindən və fırlanma oxu boyu kütlənin paylanmasından asılıdır.

Max momenti. Qəbul edək ki, cismin kütləsi bir nöqtədə cəmlənib və onun fırlanma oxuna nisbətən inersiya sabiti nöqtədə cəmlənmiş cismin bu oxa nisbətən inersiya sabitinə bərabərdir.Onda fırlanma oxuna nisbətən nöqtə cismin məsafəsi *i* inersiya radiusu adlanır. Bu halda,

$$J = mi^2, \qquad \Longrightarrow i = \sqrt{J/m} \,.$$

mD^2 – cismin max momenti; $D = 2i$ – inersiyanın diametri kimi işarələyək növbəti ifadəni alarıq:

$$J = mi^2 = mD^2/4 \,,$$

və ya

$$mD^2 = 4 \,.,$$

Max momentinin qiymətləri (kq.m^2 və ya t.m^2) məlumat kitabçalarında verilir və GD^2 ilə işarə olunur.lazım gəldikdə H.m^2 ölçüsünə gətrilə bilər. Bu məqsədlə, katoloqda verilənləri $g = 9,8$ m/s^2 vurmaq lazımdır.

Ekvialaent mexaniki inersiya sabitin təyin olunması. Ekvivalent sabit vahid bazisə gətrililməklə inersiya sabitlərinin cəmi kimi təyin olunur:

$$T_{j\Sigma} = \sum_{K=1}^{n} T_{jk} \; dm_i \,.$$

Burada qəbul olunur ki, hər bir generatorun inersiya sabiti özünün nominal gücünə nisbətən müəyyən olunubdur.

Ə l a v ə 2

Maqnit sahəsinin bəzi qanun və anlayışları

Maqnit sahəsi – elektromaqnit sahəsinin mürəkkəbələrindən biri olmaqla yüklü zərrəciklərin hərəkəti (elektrik cərəyanı) ilə və ya sabit maqnit sahəsi ilə şərtlənir. Maqnit sahəsi burulğanlıdır, yəni onun induksiya xətləri həmişə qapalıdır. Sahənin mənbəyi – maqnit yükləri (yüklü zərrəcikləri) mövcud deyildir. Maqnit sahəsini xarakterizə edən əsas fiziki kəmiyyət **B** – maqnit induksiyasıdır. Bu maqnit sahəsinin cərəyana güc təsirini təyin edən vektor kəmiyyətidir.

Bio – Savar – Laplas qanununa müvafiq olaraq cərəyan axan naqilin Δl elementi vakuumda hər hansı nöqtədə maqnit sahəsini yaradır. Onun induksiyası aşağıdakı formul ilə hesablanır:

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\Delta\ell\sin\theta}{r^2} \qquad (\text{Ə}1.1)$$

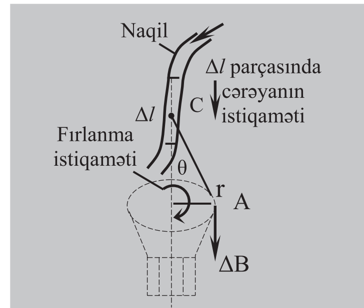
burada μ_0 – maqnit sabitidir [14];

r – müşayiət olunan nöqtədən cərəyan axan elementə qədər olan məsafədir;

θ – $\Delta \boldsymbol{l}$ elementində cərəyanın istiqaməti ilə cərəyan axan elementini müşayiət olunma nöqtəsi ilə birləşdirən düz xətt arasındakı bucaqdır.

Δ**B** vektoru *AOC* müstəvisinə perpendikulyardır. Δ**B**-nin istiqaməti *s a ğ b u r ğ u q a y d a s ı* ilə təyin olunur (şəkil Ə1.1). Δ**B** üçün ifadəni $\Delta \boldsymbol{l}$ və Δ**r** vektorları hasilinin köməyi ilə aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{r^3}\left(\Delta\ell\times\Delta r\right), \qquad (\text{Ə}1.2)$$



Şəkil Ə1.1. Sağ burğu qaydası

burada μ_0 – maqnit sabitidir ($\mu_0 = 12.57 \cdot 10^{-7}$hn/m).

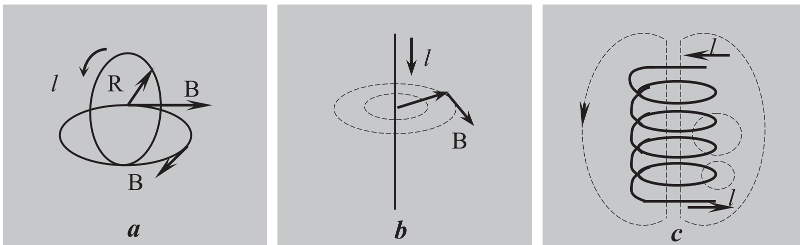
Əgər induksiya maqnit nüfuzluğu μ olan mühitdə təyin edilirsə onda (Ə1.1) və (Ə1.2) ifadələri μ-yə vurulur. Cərəyan axan sarğı, düzxətli cərəyan axan naqil və solenoid üçün maqnit induksiyası vektorlarının istiqaməti şəkil Ə1.2 –də göstərilib. Əgər cərəyan axan naqili (keçiricini) maqnit sahəsində yerləşdirsək, onda ona *A m p e r Q a n u n u* ilə təyin olunan qüvvə təsir edəcəkdir:

$$\Delta F = I(\Delta \ell\, B).$$

Bu qüvvənin modulu – $\Delta F = I\Delta \ell B \sin\theta$,

burada θ –induksiya **B-**nin istiqaməti ilə cərəyan axan naqilin elementi **Δ*l*** istiqaməti arasındakı bucaqdır.

Qüvvənin istiqaməti məlum sol əl qaydası ilə təyin olunur.



Şəkil Ə1.2. Cərəyan axan sarğının (*a*), düz naqilin (*b*) və solenoidin (*c*) sahəsinin güc xətləri

Bircinsli maqnit sahəsində müstəvi, konturla məhdudlaşan S səthindən keçən Φ maqnit seli vektorlarının hasili ilə təyin olunur:

$$\Phi = (B\, S) = BS\cos\theta,$$

burada θ – induksiya **B-**nin istiqaməti ilə S sahəsinin səthinə olan normal arasındakı bucaqdır.

Zamana görə dəyişən maqnit sahəsi burulğanlı elektrik sahəsini yaradır. Bu hadisə *e l e k t r o m a q n i t i n d u k s i y a s ı* adlanır.

F a r a d e y q a n u n u : istənilən qapalı konturda maqnit selinin dəyişməsi zamanı bu konturla məhdudlaşan səthdən keçən maqnit selinin dəyişmə sürətinə mütənasib EHQ yaranır:

$$E = -\frac{d\Phi}{dt}. \qquad (Ə1.3)$$

Baxılan konturda EHQ induksiyası induksiya cərəyanının yaranmasına səbəb olur. Minus işarəsi Lens qaydasına uyğundur: induksiya istiqaməti elədir ki, onun yaratdığı maqnit selinin dəyişməsinə mane olur.

Dəyişməz maqnit sahəsində cərəyan axan naqilin hərəkəti zamanı yaranan EHQ başqa fiziki təbiətə malikdir. Burulğanlı elektrik sahəsi bu halda olmur və naqilə maqnit sahəsi ilə əlaqədar olan Lorens qüvvəsi təsir edir. İnduksiyalanmış EHQ –nin qiyməti (Ə1.3) formulu ilə hesablanır. Bu halda induksiya cərəyanının istiqaməti Lens qaydasına müvafiq olaraq sağ əl qaydası ilə təyin olunur: yəni əgər sağ əlimizi elə yerləşdirsək ki, maqnit sahəsinin qüvvə xətləri ovucun içərisinə perpendikulyar olsun, bu halda baş barmaq naqilin hərəkət istiqamətini göstərərsə yerdə qalan dörd barmaq induksiyalanmış cərəyanın istiqamətini göstərər.

Əgər cərəyan axan kontur qismində sarğaca (elektrik maşınının dolağı) baxılırsa, onda işləmə seli olan ψ anlayışı daxil edilir. İlişmə seli Φ seli ilə sadə $\psi = w\Phi$ mütənasibliklə əlaqələnir, burada w – dolaqdakı sarğıların sayıdır. Bu halda sarğacda induksiyalanan EHQ aşağıdakı formul ilə hesablanır:

$$E = -\frac{d\Psi}{dt} = -w\frac{d\Phi}{dt}.$$

Elektrik cərəyanı axan bir kontur üçün maqnit seli bu konturla ilişən və ondan axan i cərəyanı ilə təyin olunur. Belə *sel ö z – ö z ü n ə i n d u k s i y a s e l i* adlanır. Hər hansı bir elektrik konturunun öz – özünə induksiyasının ilişmə seli

$$\Psi_L = Li,$$

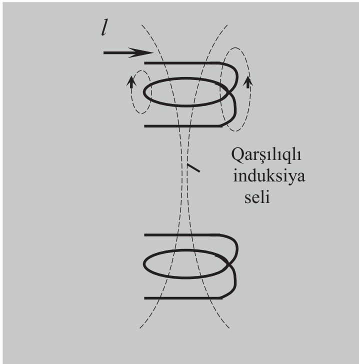
burada L əmsalı konturun məxsusi induktivliyi adlanır.

Öz – özünə induksiya selinin dəyişməsi zamanı konturda öz – özünə induksiyanın elektrik hərəkət qüvvəsi yaranır. L = const olduqda alarıq:

$$E = -\frac{d\Psi_i}{dt} = -d\frac{d(Li)}{dt} = -L\frac{di}{dt}.$$

İki və ya bir neçə cərəyan axan konturlar üçün bu konturlardan biri ilə ilişən maqnit seli bütün konturlardakı cərəyanla təyin olunur.

İki kontura baxaq və fərz edək ki, cərəyan yalnız bunlardan birindən axır (şəkil Ə1.3). Birinci konturun özünəinduksiya seli maqnit induksiyasının xəttinin bir hissəsi həmçinin ikinci konturla ilişir. İkinci konturla ilişən sel *qarşılıqlı ilişmə sel*i adlanır. Qarşılıqlı induksiyanın ilişmə seli



$$\Psi_{21} = \Psi_{2M} = M_{21}i_1 .$$

M_{21} əmsalı konturların qarşılıqlı induksiyası adlanır. Birinci indeks ikinci indekslə işarələnmiş cərəyan axan konturun hansı konturla yaranan ilişmə selinə baxılmasını göstərir.

Şəkil Ə1.3. Özünə və qarşılıqlı induksiya seli

Qarşılıqlı induksiyanın dəyişməsi zamanı qarşılıqlı induksiya seli ikinci konturla ilişmə nəticəsində bu konturda qarşılıqlı induksiya EHQ-si yaranır. M_{21} = const olduqda alarıq

$$E_{21} = -\frac{d\Psi_{2M}}{dt} = -d\frac{d(M_{21}i_1)}{dt} = -M_{21}\frac{di_1}{dt}.$$

Lens qaydasına əsasən elektromaqnit inersiya prinsipini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar: *elektrik cərəyanı axan konturlar (dolaqlar) sistemində ayrı – ayrı konturlarla ilişmiş olan maqnit sellərinin dəyişməzliyinin saxlanılması tendensiyası mövcuddur.* Konturlarda sellərin dəyişdirilməsinə cəhd etdikdə buna mane olmağa cəhd göstərən EHQ yaranır.

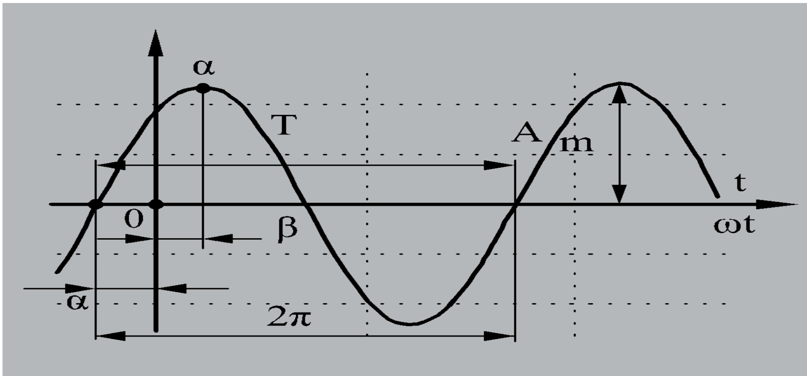
Sinusoidal kəmiyyətlərin ani və təsiredici qiymətləri

Növbəti harmonic kəmiyyətlərin ani qiymətləri:

$$A = A_m \, sin(\omega t + \alpha) = A_m cos(\omega t + \beta);$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi / T,$$

Burada, A_m –amlitud;
ω – dairəvi teslik;
f – tezlik (vahid zaman ərzində tsikillərin sayı);
T – period;
$\alpha = \beta + \pi/2$ başlanğıc faz;
$\omega t + \beta$ - faz (radian və ya dərəcə ilə).

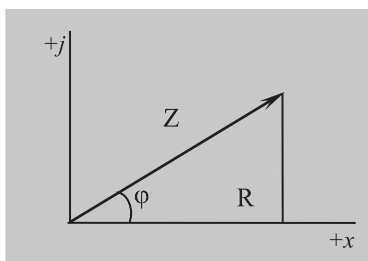


Kəmiyətin $A = A_m/\sqrt{2}$ təsiredici qiyməti bir period ərzndə ani qiymətinin ortakvadratik qiymətinə bərabərdir:

Kompleks kəmiyyətlərin təqdim edilmə formaları

Z = *R* + *jx* kompleks ədədi kompleks müstəvidə (*R, x*) koordinatlı nöqtə ilə təsvir olunur (şəkilə bax). ***Z*** = *R* + *jx* c ə b r i f o r m a s ı onunla əlverişlidir ki, kompleks ədədlərlə bütün əməliyyatlar ikihədli kimi yerinə yetirilir. Kompleks ədədin kompleks müstəvidə vektorla eyniləşdirildiyi zaman onun t r i q o n a m e t r i k f o r m a d a ifadə olunması mümkündür.

$$Z = Z(\cos\varphi + j\sin\varphi).$$



Kompleks ədədin ü s t l ü f o r m a d a verilişini almaq üçün e^{φ}–ni sonsuz sıraya ayıraq:

$$e^{\varphi} = 1 + \varphi + \frac{\varphi^2}{2!} + \frac{\varphi^3}{3!} + \frac{\varphi^4}{4!} + \frac{\varphi^5}{5!} + ...$$

Anoloji olaraq

$$e^{j\varphi} = 1 + j\varphi - \frac{\varphi^2}{2!} - j\frac{\varphi^3}{3!} + \frac{\varphi^4}{4!} + j\frac{\varphi^5}{5!} - \frac{\varphi^6}{6!}...$$

Həqiqi və xəyalı hissələri ayıraraq, alarıq

$$\boldsymbol{e^{j\varphi} = \left(1 - \frac{\varphi^2}{2!} + \frac{\varphi^4}{4!} - \frac{\varphi^6}{6!} + ...\right) + ...j\left(\varphi - \frac{\varphi^3}{3!} + \frac{\varphi^5}{5!} - \frac{\varphi^7}{7!} + ...\right).}$$

Mötərizədə olan sıralar müvafiq olaraq cos φ və sin φ – yə bərabərdir. Odur ki,

$$e^{j\varphi} = \cos\varphi + j\sin\varphi, \qquad (Ə2.1)$$

$$e^{-j\varphi} = \cos\varphi - j\sin\varphi \qquad (Ə2.2)$$

$\boldsymbol{Z} = Re^{j\varphi}$ kompleks ədədi üstlü formada verilmiş olur. O, kompleks ədədin vurulması və bölünməsi zamanı əlverişlidir. (Ə2.1) və (Ə2.2) bərabərliklərini birlikdə həll edərək Eyler formulunu alarıq:

$$\cos\varphi = \frac{e^{j\varphi} + e^{-j\varphi}}{2}, \quad \sin\varphi = \frac{e^{j\varphi} - e^{-j\varphi}}{2} \qquad (Ə2.3)$$

Dəyişən kəmiyyətlərin vektor təsviri

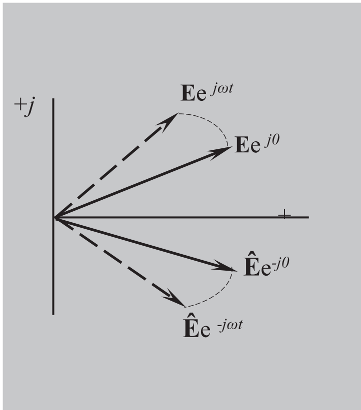
Sadə harmonik funksiyanın ani qiyməti, məsələn EHQ, aşağıdakı kimidir:

$$e = \sqrt{2}E\cos(\omega t + \alpha), \qquad (Ə3.1)$$

burada E – harmonik funksiyanın təsiredici qiymətidir; $\omega = 2\pi f$; α – harmonik funksiyanın başlanğıc fazıdır.

(Ə2.3) – ü (Ə3.1) –də yerinə yazsaq və φ – ni $(\omega t + \alpha)$ ilə əvəz etsək növbəti ifadəni alarıq,

$$e = \frac{\sqrt{2}}{2}E\left[e^{j(\omega t+\alpha)} + e^{-j(\omega t+\alpha)}\right] = \frac{\sqrt{2}}{2}E\left[e^{j\omega t}e^{j\alpha} + e^{-j\omega t}e^{-j\alpha}\right] = \qquad (Ə3.2)$$
$$= \frac{\sqrt{2}}{2}\left(Ee^{j\omega t} + \hat{E}e^{-j\omega t}\right).$$



Burada $Ee^{j\alpha} = E; \quad Ee^{-j\alpha} = \hat{E}$

(Ə3.2)-dən görünür ki, harmonik funksiyanın ani qiyməti zamanın istənilən anı üçün qoşma və yekunda xəyali mürəkkəbəsi olmayan, qarşı – qarşıya fırlanan vektorların cəmi şəklində təqdim oluna bilər (şəkilə bax). Bütöv xətlər t =0 üçün EHQ vektorlarının vəziyyətini göstərir, qırıq xətlər isə – bir müddət keçdikdən sonra onların vəziyyətidir. EHQ vektorları müsbət oxa nəzərən elə simmetrik yerləşmişdir ki, onların cəmi həqiqi kəmiyyətlərdir və tərkibində xəyali mürəkkəbələr yoxdur. Bu nisbətləri cərəyanın ani qiyməti üçün də almaq olar.

Gücün vektorla təsviri

Gücün ani qiyməti cərəyan və gərginliyin ani qiymətlərinin hasili kimi təyin olunur. Gərginlik və cərəyanın (*U*, *i*) sinusoidal dəyişməsi zamanı gücün ani qiyməti üçün olan ifadə sabit və dəyişən mürəkkəbələrdən ibarət olmaqla ikiqat tezliklə dəyişən sinusoidaya malik olduğunu göstərmək olar [11]. Əksər hesablamalarda isə orta gücün qiymətinin tapılması tələb olunur. Orta gücün ifadəsini gərginlik və cərəyanın ani qiymətlərinin hasili kimi ala bilərik:

$$S = ei = \frac{\sqrt{2}}{2}\left(Ee^{j\omega t} + \hat{E}e^{-j\omega t}\right)\left(Ie^{j\omega t} + \hat{I}e^{-j\omega t}\right) = \\ = \frac{\left(E\hat{I} + EI^{j2\omega t}\right)}{2} + \frac{\left(E\hat{I} + \hat{E}\hat{I}^{-j2\omega t}\right)}{2}. \quad (Ə4.1)$$

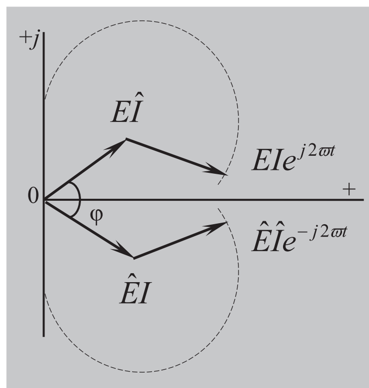
Bu ifadənin hər iki hissəsi bir – birilə əlaqəlidir. **EÎ** və **ÊI** – qoşma vektor olaraq biri-biribə bərabərdir və müxtəlif kvadrantlarda yerləşməklə zamandan asılı deyildir. İkiqat tezliklə fırlanan $\hat{E}\hat{I}e^{-j2\omega t}$ və $EIe^{j2\omega t}$ vektorları da qoşma vektorlardır və mütləq qiymətləri $E\hat{I}$ və $\hat{E}I$ -nin qiymətləri kimidir (şəkilə bax). İkiqat tezlikli mürəkkəbələrin orta qiyməti sıfıra bərabərdir, ona görə də

$$P = \frac{1}{2}\left(E\hat{I} + \hat{E}I\right) = EI\cos\varphi \quad (П4.2)$$

Burada φ bucağı $E = Ee^{j\alpha}$, $I = Ie^{j\beta}$, $\varphi = \alpha - \beta$ olduğu nəzərdə tutularaq təyin olunur. (Ə4.2)-dən görünür ki,

$$P = E\hat{I} = \hat{E}I, \quad (П4.3)$$

Bununla belə həm birinci, həm də ikinci hasildən istifadə etmək olar.



Reaktiv güc üçün oxşar ifadələrin çıxarılması mürəkkəbdir. Lakin onu $Q = EI \sin \varphi$ ifadəsinə əsaslanaraq göstərmək olar ki, (Ə4.3)-ün xəyali hissəsi reaktiv gücə bərabərdir. Bunun üçün reaktiv gücün müsbət istiqamətinin şərti qəbul olunmalıdır. Qəbul edək ki, reaktiv gücün istiqaməti müsbətdir, yəni cərəyan gərginlikdən geri qalır. Onda $\varphi = (\alpha - \beta) > 0$. Reaktiv mürəkkəbə EI hasilini növbəti şəkildə yaza bilərik,

$$Q_1 = \mathrm{Im}\left(E\hat{I}\right) = EI \sin(\alpha - \beta),$$
$$Q_2 = \mathrm{Im}\left(\hat{E}I\right) = EI \sin(\alpha - \beta). \qquad (Ə4.4)$$

(Ə4.4)-də Q_1-in işarəsi bizim reaktiv güc üçün qəbul etdiyimiz istiqamətə uyğundur. Ona görə də aktiv və reaktiv gücləri aşağıdakı bərabərliklə əlaqələndirmək olar:

$$S = P + jQ = EI.$$

Əgər Q-nün müsbət istiqaməti kimi, cərəyanın qabaqlayıcı olmasına müvafiq qəbul etsək, onda aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$S = \hat{E}I \; .$$

Əvəz sxemlərində aparılan çevirilmələrin əsas formulları

№ a/b	Çevirmənin növü	Çevirmədən əvvəlki sxem	Çevirmədən sonrakı sxem	İşarələr	Çevirmədən sonrakı sxemin elementlərinin müqaviməti
1	Bir neçə mənbənin ekvivalent mənbə ilə dəyişdirilməsi	E_1 Z_1 I_1 E_2 Z_2 I_2 E_n Z_n I_n	E_{ekv} Z_{ekv} I U_F	‖	$E_{ekv} = \frac{1}{\square_{ekv}} \sum_{\kappa=1}^{n} \square_k E_k$, burada $\square_{ekv} = \square_1 + \square_2 + _{...} + \square_n$; $\square_1 = \frac{1}{\square_1}; \square_2 = \frac{1}{\square_2};_{...}; \square_n = \frac{1}{\square_n}$ İki qolu (budağı) olduqda $\square_{ekv} = \frac{\square_1\square_2 + \square_2\square_1}{\square_1 + \square_2}$
2	Üçbucaqdan ulduza çevirmə	F I_{HF} I_{FG} Z_{HF} Z_{FG} Z_{GH} I_{GH}	F Z_F I_F I_H I_G H Z_H Z_G G	Δ/Y	$\square_F = \frac{\square_{FG}\square_{HF}}{\square_{FG} + \square_{GH} + \square_{HF}}$, $\square_G = \frac{\square_{FG}\square_{GH}}{\square_{FG} + \square_{GH} + \square_{HF}}$, $\square_H = \frac{\square_{GH}\square_{HF}}{\square_{FG} + \square_{GH} + \square_{HF}}$,

Ə l a v ə 7 –n in davamı

Əvəz sxemlərində aparılan çevirilmələrin əsas formulları

№ a/b	Çevirmənin növü	Çevirmədən əvvəlki sxem	Çevirmədən sonrakı sxem	İşarələr	Çevirmədən sonrakı sxemin elementlərinin müqaviməti
3	Üç şüalı ulduzdan üçbucağa çevirmə	F, Z_F, I_F, I_H, I_G, H, Z_H, Z_G, G	F, I_{HF}, I_{FG}, Z_{HF}, Z_{FG}, Z_{GH}, H, G, I_{GH}	Y/Δ	$\square_{FG} = \square_F + Z_G + \frac{\square_F \square_G}{\square_H}$, $\square_{GH} = \square_G + Z_H + \frac{\square_G \square_H}{\square_F}$, $\square_{HF} = \square_H + Z_F + \frac{\square_H \square_F}{\square_G}$,
4	İki EHQ-li üçbucaqdan iki EHQ –lı ulduza çevirmə	F, E_{HF}, E_{FG}, I_{HF}, I_{FG}, Z_{HF}, Z_{FG}, Z_{GH}, H, G, I_{GH}	F, Z_F, I_F, E_H, E_G, I_H, I_G, H, Z_H, Z_G, G	Δ/Y	$E_G = \frac{E_{FH}\square_{FG}}{\square_{FG} + \square_{GH} +}\ldots\rightarrow$ $\square\ \ldots\frac{+E_{FG}(\square_{HF} + \square_{GH})}{+\square_{HF}}$ $E_H = \frac{E_{FH}(\square_{FG} + \square_{GH})+}{\square_{FG} + \square_{GH} +}\ldots\rightarrow$ $\square\ \ldots\frac{+E_{FG}\square_{HF}}{+\square_{HF}}$ Müqavimətlər eyni ilə 2-ci bənddəki kimidir

Əlavə 8

Gərginliyi 1000 V kimi olan qurğularda QQ hesabatlarını aparilması üçün kataloq verilənləri

Cədvəl Ə.8.1

Gərginliyi 1 kV – dən aşağı olan sarğaclı transformatorlarda birinci dolağın müqavimətlərinin təqribi qiymətləri

Cərəyan transformatorunun transformasiya əmsalı	Müqavimətin qiyməti, мOM, Dəqiqlik sinfi olan cərəyan transformatorları üçün			
	X	R	x	R
	1		2	
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3
75/5	4,8	3	1,2	13
100/5	1.7	2.7	0.7	0.75
150/5	1.2	0.75	0.3	0.33
200/5	0.67	0.42	0.17	0.19
300/5	0.3	0.2	0.08	0.09
400/5	0.17	0.11	0.04	0.05
500/5	0.07	0.05	0.02	0.02

Cədvəl Ə.8.2

İkinci dolağının gərginliyi 0,4 kV olan alçaldıcı transformatorların müqavimətləri

Nominal güc, кVA	Dolaq-larının birləşmə sxemi	U_k, %	Müqavimətin qiyməti, , мOм							
			Düz ardıcıllıqlının			Sıfır ardıcıllıqlının		Birfazalı QQ-nin cərəyanına		
			r_{1T}	x_{1T}	z_{1T}	r_{1T}	x_{1T}	$r_{1T}^{(1)}$	$X_{1T}^{(1)}$	$z_{1T}^{(1)}$
25	У/$У_н$	4.5	154	244	287	1650	1930	1958	2418	3110
25	У/$Z_н$	4.7	177	243	302	73	35.4	-	-	-
40	У/$У_н$	4.5	88	157	180	952	1269	1128	1583	1944
40	У/$Z_н$	4.7	100	159	188	44	13.4	-	-	-
63	У/$У_н$	4.5	52	102	114	504	873	608	1077	1237
63	У/$Z_н$	4.7	59	105	119	28	12	-	-	-
100	У/$У_н$	4.5	31.5	65	72	254	582	317	712	779
100	У/$Z_н$	4.7	36.3	65.7	-75	15.6	10.6	-	-	-
160	У/$У_н$	4.5	16.6	41.7	45	151	367	184	450	486
160	Δ/$У_н$	4.5	16.6	41.7	45	16.6	41.7	49.8	125	135
250	У/$У_н$	4.5	9.4	27.2	28.7	96.5	235	115	289	311
250	Δ/$У_н$	4.5	9.4	27.2	28.7	9.4	27.2	28.5	81.6	86.3

C ə d v ə l Ə.8.2 -in davamı

Nominal güc, кVA	Dolaqlarının birləşmə sxemi	U_k %	Müqavimətin qiyməti, , мОм							
			Düz ardıcıllıqlının			Sıfır ardıcıllıqlının		Birfazalı QQ-nin cərəyanına		
			r_{1T}				r_{1T}			
400	$У/У_н$	4.5	5.5	17.1	18	55.6	149	66.6	183	195
400	$Δ/У_н$	4.5	5.9	17	18	5.9	17	17.7	51	54
630	$У/У_н$	5.5	3.1	13.6	14	30.2	95.8	36.4	123	128
630	$Δ/У_н$	5.5	3.4	13.5	14	3.4	13.5	10.2	40.5	42
1000	$У/У_н$	5.5	1.7	8.6	8.8	19.6	60.6	2.3	77.8	81
1000	$Δ/У_н$	5.5	1.9	8.6	8.8	1.9	8.6	5.7	25.8	26.4
1600	$У/У_н$	5.5	1	5.4	5.5	16.3	50	18.3	60.8	63.5
1600	$Δ/У_н$	5.5	1.1	5.4	5.5	1.1	5.4	3.3	16.2	16.5
2500	$Δ/У_н$	5.5	0.64	3.46	3.52	0.64	3.46	1.92	10.38	10.56

C ə d v ə l Ə.8.3

Şin dəstinin müqavimətlərinin qiymətləri, мОм

Parametrləri	ŞMA68P		ŞMA73		ŞMA4		
Nominal cərəyan, A	2500	4000	1600	1250	1600	2500	3200
Faza müqaviməti Rş	0.02	0.013	0.031	0.034	0.03	0.017	0.015
Faza müqaviməti $x_ş$	0.02	0.015	0.002	0.016	0.014	0.008	0.07
Nominal cərəyan, A	1600	250	400	630	250	400	630
Faza müqaviməti Rş	0.014	0.21	0.15	0.1	0.21	0.15	0.1
Faza müqaviməti $x_ş$	0.006	0.221	0.17	0.13	0.21	0.17	0.13

C ə d v ə l Ə.8.4

Gərginliyi 1 kV-yə kimi olan kabellərin müqavimətləri

Damarın en kəsiyi, мм^2	Damarının 20 ^{0}C temperaturunda aktiv müqaviməti, мОм/м		İnduktiv müqavimət, мОм/м	
	Aliminum	Mis	Kağız kəmər izolyasiyalı kabel	Boruda üç məftil, rezin və ya polixlorvinil izolyasiyası ilə
1	-	18.5	-	0.133
1.5	-	12.3	-	0.126
2.5	12.5	7.4	0.104	0.116
4	7.81	1.63	0.095	0.107

C ə d v ə l. 8.4 –ün davamı				
6	5.21	3.09	0.09	0.1
10	3.12	1.84	0.073	0.099
16	1.95	1.16	0.0675	0.095
25	1.25	0.74	0.0662	0.091
35	0.894	0.53	0.0637	0.088
50	0.625	0.37	0.0625	0.085
70	0.447	0.265	0.612	0.082
95	0.329	0.195	0.0602	0.081
120	0.261	0.154	0.0602	0.08
150	0.208	0.124	0.0596	0.079
185	0.169	0.1	0.0596	0.078
240	0.13	0.077	0.0587	0.077

C ə d v ə l Ə.8.5

Avtomatik açarların müqaviməti

$I_{nom,A}$	R_a, мOM	x_a, мOM	$I_{nom,A}$	R_a, мOM	x_a, мOM
50	7	4.5	600	0.41	0.13
70	3.5	2	1000	0.25	0.1
100	2.15	1.2	1600	0.14	0.08
140	1.3	0.7	2500	0.13	0.07
200	1.1	0.5	4000	0.1	0.05
400	0.65	0.17	-	-	-

C ə d v ə l Ə.8.6

Gərginliyi 1 kV-yə kimi olan komutasiya aparatların sökülən kontaktlarının aktiv müqavimətlərinin təqribi qiymətləri

Aparatın nominal cərəyanı, A	Aktiv müqavimət, мOM	
	Qırıcı	Ayırıcı
50	-	-
70	-	-
100	0.5	-
150	-	-
200	0.4	-
400	0.2	0.2
600	0.15	0.15
1000	0.08	0.08
2000	-	0.03
3000	-	0.02

Cədvəl Ə.8.7

TKF tipli cərəyan transformatorlarının birinci dolaqlarının elektrik müqaviməti, мкОМ

I_{nom}, A	TKF-1		TKF-3	
	r	X	r	X
7.5	$300 \cdot 10^3$	$480 \cdot 10^3$	$130 \cdot 10^3$	$120 \cdot 10^3$
10	$170 \cdot 10^3$	$270 \cdot 10^3$	$75 \cdot 10^3$	$70 \cdot 10^3$
15	$75 \cdot 10^3$	$120 \cdot 10^3$	$33 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^3$
20	$42 \cdot 10^3$	$67 \cdot 10^3$	$19 \cdot 10^3$	$17 \cdot 10^3$
30	$20 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^3$	8200	8000
40	$11 \cdot 10^3$	$17 \cdot 10^3$	4800	4200
50	7000	$11 \cdot 10^3$	3000	2800
75	3000	4800	1300	1200
100	1700	2700	750	700
150	750	1200	330	300
200	420	670	190	170
300	200	300	80	80
400	110	170	50	40
500	50	70	20	20

QISALDILMIŞ SÖZLƏRİN SİYAHISI

ADİS - avtomatlaşdırılmış dispetçer idarə sistemi
AİEQ - açarların imtinasının ehtiyat qurğusu
ARAL - asinxron rejimin avtomatik ləğvi
ATQ - avtomatik təkrar qoşulma
BATQ - birfazalı ATQ
BDİ - birləşmiş dispetçer idarəsi
BES - birləşmiş enerji sistemi
BQ - balanslaşdırıcı düyün nöqtəsi (qovşaq)
CDTAT - cəldtəsirli təsirlənmənin avtomatik tənzimləyicisi
DDP - dinamik dayanıqlığın pozulması
DM - dispetçer mərkəzi
DPDA - dayanıqlığın pozulmasının dayandırılması avtomatikası
DPLA - dayanıqlığın pozulmasının ləğvi avtomatikası
EES - elektroenergetika sistemi
EHÇ - elektrohidravlik çevirici
EHM - elektron hesablama maşını
EHQ - elektrik hərəkət qüvvəsi
EKF - eninə kompensasiyanın forsirovkası
EÖX - elektrik ötürmə xətləri
EŞM - elektrik şəbəkələri müəssisəsi
EVX - elektrik verilişi hava xətti
ƏQA - əks-qəza avtomatikası
ƏQACV - ƏQA siqnallarını cəldötürmə vasitələri
FTAT - fırlanma tezlyinin avtomatik tənzimlənməsi (generatorların)
GA - generatorun açılması
GM - gərginliyin məhdudlaşdırılması (buxar turbininin)
GQMA - gərginliyin qalxmasının məhdudlaşdırıcı avtomatikası
GTAT - mübadilə gücünün və tezliyin avtomatik tənzimlənməsi

GTQ - generatorun tezliyin düşməsindən qoşulması
İEM - istilik elektrik mərkəzi
İES - istilik elektrik stansiyası
İNK - idarəedən hesablama kompleksi
İT - idarəçilik təsirləri
KATQ - kombinə edilmiş ATQ
KES - kondensasiyalı elektrik stansiyası
MDX - enerjisistemin mərkəzi dispetçer xidməti
MÖS - məlumat-ölçü sistemi
MHQ - maqnit hərəkət qüvvəsi
n.v. - nisbi vahid
OMİK - operativ-məlumat idarə kompleksi
ÖT - ötürücü
OTMÖŞ - operativ-texnoloji məlumatın ötürülmə şəbəkəsi
FEHM - fərdi elektron hesablama maşını
PQ - paylayıcı qurğu
PTAT - proporsional tipli TAT qurğusu
QE - qəbuledici
QQ - qısa qapanma
RM - rele mühafizəsi
RMA - rele mühafizəsi və avtomatika
RT - rejim trenajorları
SDP - statik dayanıqlığın pozulması
SES - su elektrik stansiyası
SG-G - sinxron kompensator rejimindən generator rejiminə kecid
SGNÖO - stansiyanın cəmi gücünün ölçü orqanı
SK - sinxron kompensator
TA - transformatorun açılması
TAT - təsirlənmənin avtomatik tənzimlənməsi
TATQ - tezlik ATQ-si
TF - təsirlənmənin forsirovkası
TGTA - transformatorun gərginliyinin tənzimlənməsi avtomatikası
Tİ - teleidarə
TİB - buxar turbinindən qısa müddətli (impuls) yükçıxarması
TİM - turbinin idarə mexanizmi

TMQ	- telemexanika qurğusu
TİŞ	- teleinformasiya şəbəkəsi
TÖ	- teleölçü
TQMA	- tezliyin qalxmasının məhdudlaşdırıcı avtomatikası
TS	- telesiqnal
TT	- teletənzimləmə
TTY	- tez təsirli yükün qaldırılması
TUY	- buxar turbinindən uzun müddətli yükçıxarılması
TYA	- tezlikdən yükaçma avtomatikası
ÜATQ	- üçfazalı ATQ
YA	- yükün açılması
YAT	- yük altında tənzimlənmə (transformatorların)
YAXA	- yük açılmasının xüsusi avtomatikası
YÖO	- yükün ölçü orqanı
YS	- yarımstansiya
YSİO	- yarımstansiyaların açılmasını fiksəedən işəburaxma orqanı
XA	- xəttin açılması
XAİO	- xəttin açılmasını fiksəedən işə buraxma orqanı
XGNO	- xətlərin gücünün nəzarət ölçü orqanları

MÜNDƏRİCAT

Dərslik

Yusifbəyli Nurəli Adil oğlu

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNDƏ KEÇİD PROSESLƏRİ

Texniki Redaktorlar: H.Q. Hüeynov
Korrektor: S.S.Cəfərli, F.S. Hüseynli
Rəssam: Dinbazova E. K.
Bilgisayar işləmələri: F. N. Yusifbəyli, C.N. Yusifbəyli

Nəşrə imzalanmışdır 28.10.2019
Format 60×90/16. Ofset kağızı, Ofset nəşri.